

Πανεπιστήμιο Κρήτης
Σχολή Θετικών και Τεχνολογικών Επιστημών
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

**Τεχνικές ανάλυσης εικόνων για την
ανίχνευση δομικών στοιχείων σε
προσόψεις κτιρίων**

Ζωράκης Νικόλαος

Μεταπτυχιακή Εργασία

Ηράκλειο, Νοέμβριος 2013

Τεχνικές ανάλυσης εικόνων για την ανίχνευση δομικών στοιχείων σε προσόψεις κτιρίων

Εργασία που υποβλήθηκε από τον
Νικόλαο Ζωράκη
ως μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Συγγραφέας:

Ζωράκης Νικόλαος
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Εισηγητική Επιτροπή:

Τζιρίτας Γεώργιος, Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Επόπτης

Αργυρός Αντώνιος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Μέλος

Παναγιωτάκης Κων/νος, Επίκουρος Καθηγητής, ΤΕΙ Κρήτης, Μέλος

Δεκτή:

Μπίλας Άγγελος, Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Κρήτης
Διευθυντής Επιτροπής Μεταπτυχιακών Σπουδών

Ηράκλειο, Νοέμβριος 2013

Περίληψη

Στόχος της εργασίας είναι η ανίχνευση δομών σε εικόνες πρόσοψης κτιρίων. Αναπτύσσονται τεχνικές με αφετηρία μια τμηματοποιημένη εικόνα της πρόσοψης. Σκοπός είναι η αναγνώριση των επιμέρους περιοχών από τις οποίες αποτελείται η εικόνα της πρόσοψης. Από τις εντοπιζόμενες περιοχές εξάγονται βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά περιγραφής τους, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της δομής στην οποία αντιστοιχούν. Με βάση τα χαρακτηριστικά που εξάγονται από μια συλλογή εικόνων με προσόψεις κτιρίων παρόμοιου αρχιτεκτονικού σχεδίου με καθοδηγούμενη μάθηση προσδιορίζονται οι αντιπροσωπευτικές τιμές περιγραφής των δομικών στοιχείων, ώστε να χρησιμοποιηθούν στο τελικό στάδιο της αναγνώρισης των δομών. Στο τελευταίο στάδιο, προτείνονται και χρησιμοποιούνται τεχνικές για τη αναγνώριση του ουρανού, του τοίχου και των παραθύρων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αναγνώριση περιοχών που αντιστοιχούν σε παράθυρα, αναπτύσσοντας τεχνικές που βασίζονται στα χαρακτηριστικά των περιοχών, στην περιοδικότητα, στη συμμετρία και στις βασικές αρχιτεκτονικές αρχές της πρόσοψης κτιρίων. Αρχικά γίνεται αναγνώριση με βάση τα χαρακτηριστικά και με υψηλό βαθμό πιθανοφάνειας. Ακολούθως αξιοποιούνται οι ιδιότητες της περιοδικότητας και της αρχιτεκτονικής δομής της πρόσοψης. Δίδονται αποτελέσματα από διαφορετικές συλλογές με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Το τελικό αποτέλεσμα αναγνώρισης κρίνεται ως καλό, με την προϋπόθεση ότι η τμηματοποίηση των εικόνων είναι ικανοποιητική.

Abstract

The goal of this work is the structure detection in building façade images. We developed techniques that start with a segmented facade image. The target is the classification of the individual regions from which the facade image is composed. Relevant descriptive geometrical features are extracted from the detected regions that are used for the determination of the structure that belong to. Based on the features that are extracted from a collection of building facade images of similar architectural design with supervised learning, the representative descriptive values of structural elements are specified, so as to be used to the final stage of the structure recognition. At the final phase, they are proposed and used recognition techniques of the sky, the wall and the windows. Special focus is given to the recognition of areas that correspond to windows, by developing methods that are based on the characteristics of these areas, the periodicity, the symmetry and the fundamental architectural principles of the building facades. At first, the recognition is done depending only to the characteristics with high degree of likelihood. Subsequently, the properties of the periodicity and the architectural structure of the facade are exploited. We present results from different image collections with various characteristics. The final recognition result is considered good, on the premise that the segmentation of building facade image is satisfactory.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επόπτη καθηγητή της μεταπτυχιακής μου εργασίας κ. Γεώργιο Τζιρίτα για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του. Άξια επισήμανσης είναι η προσφορά του κ. Παναγιωτάκη Κων/νου, ο οποίος ήταν πάντα πρόθυμος να με βοηθήσει όποτε τον χρειάστηκα. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για την στήριξη της οικογένειάς μου καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	11
1.1	Βασικές αρχές της ανίχνευσης δομών σε προσόψεις κτιρίων	11
1.2	Γενική Περιγραφή της προσέγγισης μας	11
1.3	Προηγούμενες Προσεγγίσεις	12
1.4	Τμηματοποίηση Πρόσοψης	15
1.5	Οργάνωση της Εργασίας	17
2	Εξαγωγή Χαρακτηριστικών	19
2.1	Γενική Περιγραφή	19
2.2	Καθοδηγούμενη μάθηση και προσδιορισμός αντιπροσωπευτικών τιμών των χαρακτηριστικών	19
2.3	Επιλογή περιγραφικών χαρακτηριστικών	20
3	Αναγνώριση Δομικών Στοιχείων	25
3.1	Γενική Περιγραφή	25
3.2	Κριτήρια χαρακτηριστικών	26
3.2.1	Αναλυτική περιγραφή συνδυασμών από κριτήρια χαρακτηριστικών	26
3.2.2	Αποφυγή Λανθασμένων αναγνωρίσεων	28
3.3	Cross - Διασταύρωση γραμμών από κέντρα	31
3.3.1	Επιλογή κοντινότερο σημείου τομής	32
3.4	Moving window - Αντιγραφή παραθύρων σε διασταυρώσεις γραμμών από κέντρα	34
3.5	Insertion - Επέκταση παραθύρων ανά όροφο	35
3.6	Svd (Singular value decomposition)	37
4	Αποτελέσματα	41
4.1	Περιγραφή διαδικασίας αξιολόγησης	41
4.2	Αποτελέσματα αναγνώρισης ουρανού	41
4.3	Αποτελέσματα αναγνώρισης τοίχου	42
4.4	Αποτελέσματα αναγνώρισης παραθύρων	44
5	Επίλογος	50
5.1	Συμπεράσματα του αλγόριθμου τμηματοποίησης	50
5.2	Συμπεράσματα του αλγόριθμου αναγνώρισης	50
5.3	Μελλοντικές επεκτάσεις	50
	Βιβλιογραφία	52

Κατάλογος Σχημάτων

1.1	Αλγοριθμικές εξαρτήσεις και ροές	12
1.2	Παραδείγματα ικανοποιητικής τμηματοποίησης προσόψεων	16
1.3	Παραδείγματα μη ικανοποιητικής τμηματοποίησης προσόψεων	17
2.1	Ιστόγραμμα τιμών του ποσοστιαίου μεγέθους περιοχής των ανιχνεύσιμων δομικών στοιχείων	20
2.2	Ιστόγραμμα τιμών του προσανατολισμού των ανιχνεύσιμων δομικών στοιχείων	21
2.3	Ιστόγραμμα τιμών της εκκεντρότητας των ανιχνεύσιμων δομικών στοιχείων	22
2.4	Ιστόγραμμα τιμών της απόκλισης ορθογώνιου περιγράμματος των ανιχνεύσιμων δομικών στοιχείων	23
2.5	Ιστόγραμμα τιμών της στερεότητας των ανιχνεύσιμων δομικών στοιχείων	24
3.1	Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου αποφυγής λανθασμένων αναγνώρισεων παραθύρων	29
3.2	Παράδειγμα αναγνώρισης παραθύρων από την τεχνική ‘Κριτήρια χαρακτηριστικών’	30
3.3	Παράδειγμα αναγνώρισης ουρανού	30
3.4	Παράδειγμα αναγνώρισης τοίχου από την τεχνική ‘Κριτήρια Χαρακτηριστικών’	31
3.5	Παράδειγμα αναγνώρισης παραθύρων από την τεχνική ‘cross’	33
3.6	Παράδειγμα αναγνώρισης παραθύρων από την τεχνική ‘moving window’	35
3.7	Παράδειγμα αναγνώρισης παραθύρων από την τεχνική ‘insertion’	37
3.8	Παράδειγμα αναγνώρισης παραθύρων από την τεχνική ‘svd’	40
4.1	Παραδείγματα αναγνώρισης ουρανού	42
4.2	Παραδείγματα αναγνώρισης τοίχου	43
4.3	Παραδείγματα αναγνώρισης παραθύρων	49

Κατάλογος Πινάκων

4.1 Στατιστικά στοιχεία για τη συνεισφορά κάθε τεχνικής αναγνώρισης στο τελικό αποτέλεσμα	46
--	----

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Βασικές αρχές της ανίχνευσης δομών σε προσόψεις κτιρίων

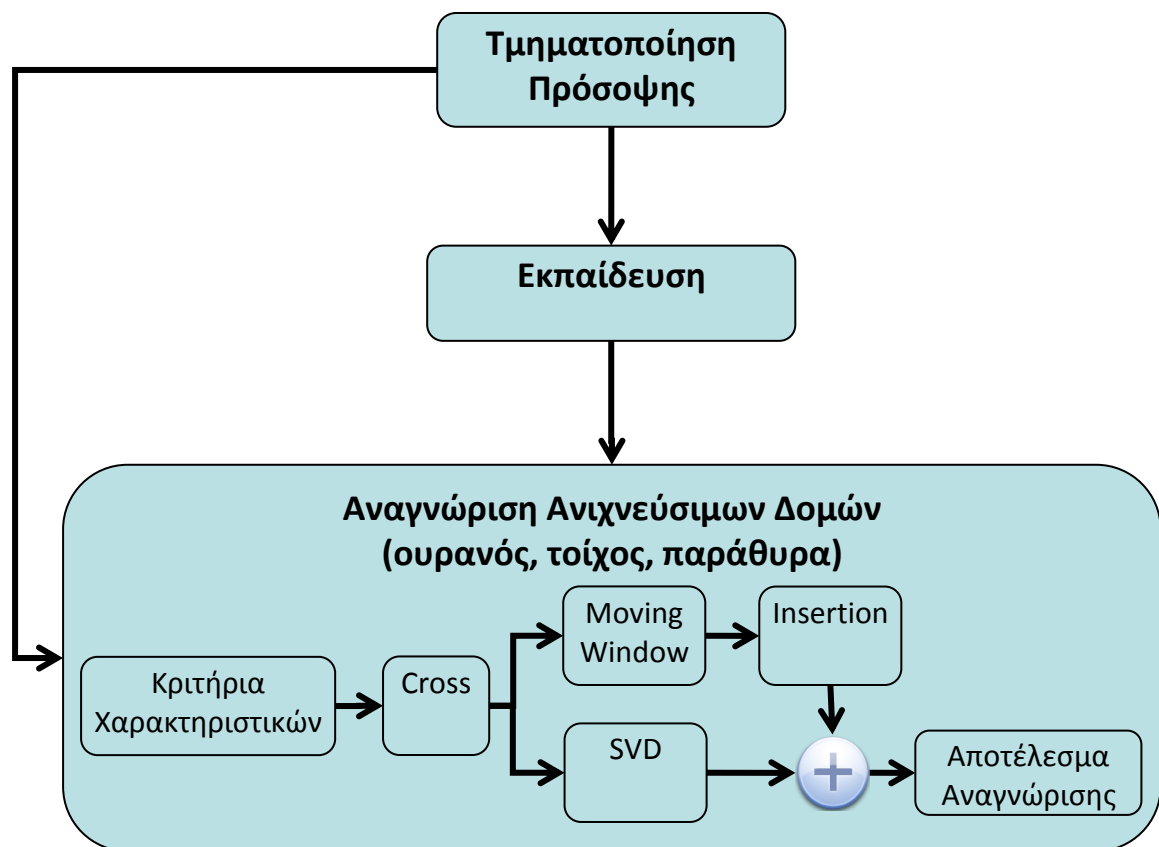
Την τελευταία δεκαετία αναπτύσσεται διαρκώς ερευνητικό ενδιαφέρον σχετικά με την ταξινόμηση των περιοχών πρόσοψης κτιρίων, καθώς παρά την σημαντική εξέλιξη που έχει σημειωθεί, υπάρχουν ακόμη περιθώρια προόδου. Η ταξινόμηση της πρόσοψης είναι μια διαδικασία που στοχεύει στη βέλτιστη προσέγγιση της θέσης, του μεγέθους και των ορίων των δομικών στοιχείων από τα όποια αποτελείται. Το τελικό αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας εξαρτάται σημαντικά από τη μέθοδο τμηματοποίησης, αφού αποτελεί το πρώτο στάδιο, τα αποτελέσματα του οποίου επηρεάζουν καθοριστικά τα επόμενα βήματα. Επιπροσθέτως, ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των περιοχών που τις περιγράφουν παίζει καθοριστικό ρόλο. Τέλος, η αξιοποίηση της συμμετρίας, της περιοδικότητας και των καθολικών αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών της πρόσοψης των κτιρίων συμβάλλει στην ποιοτικά και ποσοτικά αποτελεσματικότερη ταξινόμηση περιοχών που αντιστοιχούν στις συνήθεις ανιχνεύσιμες δομές, και ιδιαίτερα τα παράθυρα, που παρουσιάζουν περιοδικότητα κι έχουν ομοιότητες χαρακτηριστικών.

1.2 Γενική Περιγραφή της προσέγγισης μας

Σε αυτήν την εργασία επικεντρωνόμαστε στην ανίχνευση περιοχών που αντιστοιχούν σε ουρανό, τοίχο και παράθυρα. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η συνολική εικόνα της αλγοριθμικής εξάρτησης και ροής μεταξύ των βασικών τμημάτων της εργασίας. Με έντονη γραφή φαίνονται οι τρεις βασικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται.

Προκειμένου να αναγνωριστούν οι περιοχές που αντιστοιχούν στις προαναφερθείσες ανιχνεύσιμες δομές σε μια εικόνα πρόσοψης κτιρίου, αρχικά εξάγεται ένα σύνολο περιοχών από τις οποίες αποτελείται. Μετά ακολουθεί το στάδιο της εκπαίδευσης όπου προσδιορίζονται οι αντιπροσωπευτικές (μέσες) τιμές των γεωμετρικών χαρακτηριστικών που περιγράφουν τις περιοχές των ανιχνεύσιμων δομών βάση ενός δείγματος εικόνων πρόσοψης με αρχιτεκτονικό στυλ παρόμοιο μ' αυτό της πρόσοψης στην οποία θέλουμε να αναγνωρίσουμε τις ανιχνεύσιμες δομές. Η διαδικασία εκπαίδευσης εκτελείται ξανά, μόνο όταν θέλουμε να αναγνωρίσουμε τις ανιχνεύσιμες δομές σε μια πρόσοψη που έχει αρκετά διαφορετικά αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά απ' αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο της εκπαίδευσης. Οι αντιπροσωπευτικές τιμές χρησιμοποιούνται από την πρώτη τεχνική αναγνώρισης ('Κριτήρια Χαρακτηριστικών'), η οποία εκμεταλλεύεται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτών των δομών, σε αντίθεση με τις τέσσερις τεχνικές αναγνώρισης παραθύρων που ακολουθούν, οι οποίες βασίζονται στην

συμμετρία και την περιοδικότητα των παραθύρων. Η τελευταία τεχνική, το SVD (Singular Value Decomposition) εξαρτάται από την έξοδο της τεχνικής Cross, καθώς θεωρείται ότι οι δυο επόμενες τεχνικές (moving Window, Insertion) δεν έχουν τόση ακρίβεια στην αναγνώριση παραθύρων όση οι δυο πρώτες. Έτσι εξασφαλίζεται τις περισσότερες φορές ακριβέστερο τελικό αποτέλεσμα αναγνώρισης. Η ανίχνευση του τοίχου εξαρτάται μόνο από την τεχνική των κριτηρίων των χαρακτηριστικών, ενώ των παραθύρων από όλες τις τεχνικές. Οι περιοχές του ουρανού προσδιορίζονται στο τέλος βάση των περιοχών που ανιχνεύτηκαν ως τοίχος και παράθυρα.



Σχήμα 1.1: Αλγοριθμικές εξαρτήσεις και ροές

1.3 Προηγούμενες Προσεγγίσεις

Τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα την τελευταία δεκαετία, αρκετοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την τμηματοποίηση και αναγνώριση δομών σε προσόψεις κτιρίων. Κάποιες προσεγγίσεις εστιάζουν στην ανίχνευση αρκετών δομών, έχοντας συνήθως ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο σε ένα υποσύνολο των ανιχνεύσιμων δομών. Ενώ άλλες περιορίζουν το πλήθος των δομών (3-4) που προσπαθούν να ανιχνεύσουν, εστιάζοντας έτσι καλύτερα στην περιγραφή αυτών και βρίσκοντας

συνήθως αποδοτικότερους τρόπους για την εύρεση των επιθυμητών δομών. Οι πληροφορίες βάσει των οποίων πραγματοποιείται η τμηματοποίηση και αναγνώριση δομών είναι ένα ακόμη βασικό χαρακτηριστικό που μπορεί να διακρίνει τις διάφορες προσεγγίσεις, όπως θα περιγράψουμε παρακάτω.

Αρχικά θα αναφέρουμε την εργασία [2] των Michael Ying Yang, Wolfgang Forstner, Dengfeng Chai, στην οποία διενεργείται μια εμπειρική διαδικασία αξιολόγησης χαρακτηριστικών σε εικόνες πρόσοψης κτιρίων. Χρησιμοποιούνται δυο μέθοδοι ανεπιτήρητης τμηματοποίησης, ο αλγόριθμος μέσης μετατόπισης (mean shift algorithm) και ο αλγόριθμος watershed. Επίσης, έξι διαφορετικές ομάδες χαρακτηριστικών, βασικά (π.χ πλήθος οπών της περιοχής), χρωματικά, ιστογράμματος, υφής, Peucker και SIFT χαρακτηριστικά εξάγονται για κάθε περιοχή που προκύπτει από τις παραπάνω μεθόδους τμηματοποίησης για την αξιολόγηση καθεμιάς ομάδας στην μετέπειτα αναγνώριση δομών. Τα χαρακτηριστικά κάθε ομάδας εκτιμώνται από τον ταξινομητή randomized decision forest. Οι δομές που προσπαθούν να ανιχνεύσουν είναι αυτοκίνητο, πόρτα, πεζοδρόμιο, δρόμος, βλάστηση, παράθυρο, ουρανός και τοίχος. Απ' αυτές τις δομές, μόνο ο τοίχος, το παράθυρο και η βλάστηση δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, κυρίως λόγω της δραματικής ανισότητας στο πλήθος των δεδομένων που υπάρχει μεταξύ των κλάσεων.

Μια άλλη προσέγγιση παρουσιάζεται στην εργασία [3] όπου αναλύεται μια πρόσοψη μέσω τριών βημάτων. Αρχικά, χρησιμοποιείται η σύγχρονη τεχνική μηχανικής μάθησης RNN (Recursive Neural Networks) για την τμηματοποίηση της πρόσοψης. Στο επόμενο βήμα, οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν από το πρώτο βήμα εμπλουτίζονται με τις πληροφορίες που εξάγονται από εξειδικευμένους ανιχνευτές συστατικών των προσόψεων κτιρίων. Ο εμπλουτισμός αυτός επιτυγχάνεται μέσω ενός Markov Random Field το οποίο είναι ορισμένο πάνω στην εικόνα. Στο τελευταίο βήμα, αξιοποιώντας λίγες βασικές δομικές αρχές της πρόσοψης, επιτυγχάνεται η ανακατασκευή της η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως συνεπής και ευλογοφανής.

Οι Bjorn Frohlich, Erik Rodner, Joachim Denzler στην εργασία [4] τους, συστήνουν μια τεχνική ταξινόμησης της πρόσοψης των κτιρίων. Η τεχνική αυτή εφαρμόζει μια διαδικασία επισήμανσης των εικονοστοιχείων της εικόνας χρησιμοποιώντας ένα Random Forest ταξινομητή και τοπικά χρωματικά χαρακτηριστικά. Το αποτέλεσμα αυτής της τεχνικής είναι η ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων, ώστε να προκύψουν ομάδες περιοχών με παρόμοια χαρακτηριστικά με απώτερο σκοπό τον προσδιορισμό των περιοχών που αντιστοιχούν σε τοίχο, ουρανό, παράθυρα, αυτοκίνητα, βλάστηση, πεζοδρόμιο και δρόμο. Εξαιτίας του τρόπου ομαδοποίησης που επιλέχτηκε, ο χρόνος εκτέλεσης είναι μικρός σχετικά με άλλες παρόμοιες προσεγγίσεις. Οι ομάδες που φαίνεται να ομαδοποιούνται αρκετά ικανοποιητικά είναι του ουρανού, του τοίχου και λίγο χειρότερα των παραθύρων. Οι υπόλοιπες ομάδες αναγνωρίζονται σε μέτριο βαθμό.

Μια ακόμη μέθοδος ανίχνευσης και ταξινόμησης παραθύρων παρουσιάζεται στην [5], η οποία προσπαθεί να επιτύχει αντιμετωπίζοντας το ως ένα πρόβλημα αναγνώρισης προτύπων. Λόγω των πιθανών διακυμάνσεων/παραλλαγών στην εμφάνιση, του μεγέθους των παραθύρων, αλλά και της προβολικής παραμόρφωσης ανάλογα με τη θέση θέασης, χρησιμοποιούνται ανιχνευτές μοτίβων που προσπαθούν να τις αγνοήσουν. Χρησιμοποιείται μια τεχνική αναγνώρισης

αντικειμένων που αξιοποιεί τα Haar-like χαρακτηριστικά και τις αντίστοιχες περιστρεμμένες παραλλαγές τους σε συνδυασμό με ένα ταξινομητή κλιμάκωσης (cascaded classifier). Τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά, επισημαίνοντας ότι βελτιώνονται στην περίπτωση που οι περιοχές των παραθύρων έχουν υψηλή υφή και δεν απεικονίζονται από πλάγια θέση.

Επίσης, η εργασία [6] προτείνει μια προσέγγιση για την ταξινόμηση της πρόσοψης κτιρίων η οποία τμηματοποιεί την εικόνα με τον αλγόριθμο mean shift. Έπειτα χρησιμοποιεί ένα ταξινομητή RDF (random decision forest) σε συνδυασμό με τοπικά χαρακτηριστικά όπως χρώμα, υφή, SIFT descriptors για την αναγνώριση των περιοχών που προκύπτουν από την τμηματοποίηση. Για την ποσοτική και ποιοτική βελτίωση των αποτελεσμάτων, εφαρμόζουν ένα conditional random field ενισχύοντας έτσι την χωρική συνέπεια μεταξύ γειτονικών περιοχών. Μ' αυτόν τον τρόπο, μειώνεται η λανθασμένη ταξινόμηση περιοχών. Η ταξινόμηση επικεντρώνεται στις κλάσεις τοίχος, αυτοκίνητα, βλάστηση, δρόμος, πεζοδρόμιο, πόρτες, παράθυρα και ουρανός. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης χαρακτηρίζονται ως μετρίως επαρκή στις περισσότερες κλάσεις, ενώ οι περιοχές που αντιστοιχούν σε δρόμο, τοίχο, και ουρανό ανιχνεύονται αρκετά ικανοποιητικά.

Οι Mayer και Reznik [7] παρουσιάζουν μια μέθοδο ανακατασκευής προσόψεων κτιρίων η οποία βασίζεται τον προσδιορισμό των επιπέδων μιας πρόσοψης και στη μάθηση σχηματικών μοντέλων αντικειμένων, ιδιαίτερα των παραθύρων. Οι Jorge Hernandez και Beatriz Marcotegui [8] έχουν αναπτύξει μια τεχνική μορφολογικής τμηματοποίησης προσόψεων όπου αρχικά μια πρόσοψη απομονώνεται από όλες τις υπόλοιπες περιοχές (ουρανός, δρόμος, κ.α) με σκοπό την εξαγωγή των ορόφων. Οι Kulkarni Viraj, Nagesh Rohan και Wu Hong [9] επιχειρούν την εξαγωγή παραθύρων από προσόψεις χρησιμοποιώντας τις κάθετες και τις οριζόντιες ακμές της πρόσοψης για να προσδιορίσουν κατά προσέγγιση το ύψος των ορόφων και το πλάτος των παραθύρων. Μετά βρίσκουν παρόμοιες περιοχές υπολογίζοντας την αμοιβαία εξάρτηση μεταξύ των μεταβλητών που περιγράφουν την ένταση (intensity) κάθε περιοχής και εφαρμόζουν την τεχνική εξαγωγής χαρακτηριστικών Snake Algorithm.

Στην εργασία [10] υλοποιείται ένα σύστημα το οποίο εξάγει και ανακατασκευάζει την τρισδιάστατη δομή των παραθύρων σε μια πρόσοψη. Για την εξαγωγή των παραθύρων αξιοποιούνται οι κάθετες και οριζόντιες ακμές. Ακολουθεί η ταξινόμηση των παραθύρων σύμφωνα με τις δυσδιάστατες διαστάσεις τους και την υφή της εικόνας. Για την ανακατασκευή των παραθύρων υπολογίζεται αυτόματα το βάθος τους από το επίπεδο της πρόσοψης αξιοποιώντας πληροφορίες από την ταξινόμηση των παραθύρων. Στην εργασία [11] προτείνεται μια προσέγγιση για την τμηματοποίηση προσόψεων η οποία συνδυάζει γραμματικές σχημάτων, επιτηρούμενη ταξινόμηση και τυχαίους περίπατους (random walks). Μια ακόμη προσέγγιση για ανάλυση των προσόψεων με γραμματικές σχημάτων παρουσιάζεται στην [17]. Το αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης είναι η εξαγωγή περιοχών που αντιστοιχούν σε μπαλκόνια, τοίχο, παράθυρα και πόρτες. Η ειδοποιός διαφορά αυτής της προσέγγισης είναι η χρήση τεχνικών ενισχυόμενης μάθησης (reinforcement learning). Στην εργασία [18] παρουσιάζεται μια μέθοδος ταξινόμησης των περιοχών μιας πρόσοψης σε ομάδες περιοχών που αντιστοιχούν σε τοίχο, αυτοκίνητα, πόρτες, πεζοδρόμιο, δρόμο, ουρανό, βλάστηση και

παράθυρα. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιείται ένα ιεραρχικό conditional random field.

Τέλος, οι Yang, Han, Quan και Tai [19] προτείνουν ένα ακόμη τρόπο ανάλυσης μιας πρόσοψης κτιρίων χρησιμοποιώντας ένα αποδοτικό αλγόριθμο ο οποίος αποσυνθέτει έναν αυθαίρετο/τυχαίο πίνακα σε ένα πίνακα πρώτης τάξης και ένα υπολειμματικό πίνακα. Για την ανάλυση μιας πρόσοψης, αρχικά πραγματοποιείται ταξινόμηση της σε περιοχές που ανήκουν στον τοίχο και σε όλες τις υπόλοιπες, κάνοντας χρήση ενός Random Forest ταξινομητή και χρωματικής πληροφορίας. Μετά τμηματοποιείται η πρόσοψη σε ομάδες εικονοστοιχείων (pixel blocks) και προσεγγίζεται κάθε τέτοια ομάδα με ένα πίνακα πρώτης τάξης, αξιοποιώντας μ' αυτό το τρόπο τον παραπάνω αλγόριθμο.

1.4 Τμηματοποίηση Πρόσοψης

Για την τμηματοποίηση των εικόνων χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε στην εργασία [1]. Πρόκειται για ένα γενικού σκοπού αλγόριθμο ο οποίος δεν απαιτεί κάποιου είδους επιτήρηση κατά την εφαρμογή του, παρ' όλα αυτά υπάρχει η δυνατότητα εκμετάλλευσης πιθανής οπτικής πληροφορίας σχετικής με τις εικόνες που πρόκειται να τμηματοποιηθούν μέσω της κατάλληλης ρύθμισης παραμέτρων, όπως το πλήθος των κλάσεων.

Ο αλγόριθμος αποτελείται από τρία βασικά στάδια, την εξαγωγή χαρακτηριστικών, την ομαδοποίηση και την συγχώνευση περιοχών της εικόνας. Στο πρώτο στάδιο η εικόνα χωρίζεται σε αλληλεπικαλυπτόμενες ομάδες εικονοστοιχείων (pixel blocks) από τις οποίες εξάγονται χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα, ως χαρακτηριστικά θεωρούνται η υφή και οι χρωματικές συνιστώσες στο *Lab*. Στο δεύτερο στάδιο, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά αυτά πραγματοποιείται ομαδοποίηση των μπλοκ από εικονοστοιχεία. Για λόγους απλότητας, το πλήθος των κλάσεων είναι προκαθορισμένο. Τέλος, υλοποιείται η επέκταση των αρχικά ταξινομημένων περιοχών, η οποία βασίζεται στις τοπικές μετρήσεις και αποστάσεις μεταξύ των κατανομών από χαρακτηριστικά των διαφορετικών κλάσεων.

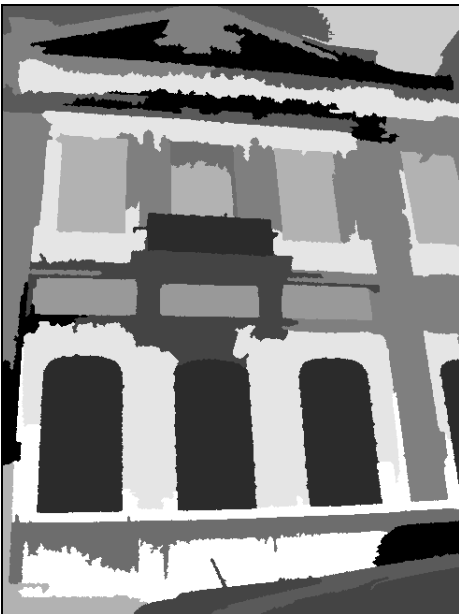
Ένας από τους κυριότερους λόγους επιλογής αυτού του τρόπου τμηματοποίησης είναι ότι γίνεται αυτόματα, χωρίς την ανάγκη κάποιου επιτηρητή/χρήστη. Επίσης σπάνια παρουσιάζεται το φαινόμενο της υπερτμηματοποίησης καθώς ο αλγόριθμος δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από λεπτομέρειες που πολύ πιθανόν να υπάρχουν στις περιοχές που αντιστοιχούν σε ανιχνεύσιμες δομές όπως ο σκελετός στα παράθυρα, τα τούβλα στο τοίχο και τα πουλιά στον ουρανό. Βασικό βήμα του αλγόριθμου που του δίνει αυτό το χαρακτηριστικό της παράλειψης λεπτομερειών είναι η επέκταση με αφετηρία ήδη ταξινομημένες περιοχές.



(α)



(γ)



(β)



(δ)

Σχήμα 1.2: Παραδείγματα ικανοποιητικής τμηματοποίησης προσώπων

Στο σχήμα 1.2 φαίνονται δυο παραδείγματα, στην πρώτη σειρά είναι οι αρχικές εικόνες και στην δεύτερη το αποτέλεσμα τμηματοποίησης τους, το οποίο είναι αρκετά ικανοποιητικό παρά τις δυσκολίες που υπάρχουν ιδιαίτερα στις περιοχές των παραθύρων. Πιο συγκεκριμένα, στην (1.4)α τα κάγκελα και τα πατζούρια που φαίνονται στα παράθυρα θα μπορούσαν να δημιουργήσουν πρόβλημα υπερτμηματοποίησης. Στην (1.4)α ο φωτισμός μπορεί να θεωρηθεί ομοιόμορφος σε όλη την πρόσοψη, κάτι το οποίο δεν ισχύει στην (1.4)γ καθώς ένα δέντρο σκιάζει κάποια παράθυρα. Επίσης σε κάποια παράθυρα υπάρχουν κουρτίνες, άλλα έχουν πατζούρια και άλλα τίποτε από τα δύο παραπάνω. Παρά τις διαφοροποιήσεις στις

περιοχές των παραθύρων το αποτέλεσμα είναι αρκετά ικανοποιητικό. Στις περιοχές του ουρανού και του τοίχου που δεν υπάρχουν έντονες διακυμάνσεις στο χρώμα και την υφή, προκύπτουν λίγες μεγάλες και όχι πολλές μικρές περιοχές.



(ε)



(ζ)

Σχήμα 1.3: Παραδείγματα μη ικανοποιητικής τμηματοποίησης προσόψεων

Στο σχήμα 1.3 φαίνεται ένα παράδειγμα τμηματοποίησης το οποίο δεν θεωρείται ικανοποιητικό για τις περιοχές των παραθύρων. Πιο συγκεκριμένα, στην (1.4)ε τα μπαλκόνια των παραθύρων και οι κουρτίνες παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά στην υφή και στα χρωματικά κανάλια και έτσι η μετέπειτα αναγνώριση ανιχνεύσιμων δομών καθίσταται εξαιρετικά δύσκολη. Γενικά, στην πλειονότητα των περιπτώσεων το αποτέλεσμα είναι κατάλληλο για την ανίχνευση της δομής.

1.5 Οργάνωση της Εργασίας

Η εργασία αυτή αποτελείται κυρίως από τρεις αλγόριθμους. Ο πρώτος περιγράφεται στο κεφάλαιο 1 και είναι υπεύθυνος για την τμηματοποίηση της εικόνας, ώστε να μας παρέχει ομάδες εικονοστοιχείων, για τις οποίες αργότερα θα αποφασιστεί αν και σε ποια από τις ανιχνεύσιμες δομές ανήκουν. Στο κεφάλαιο 2 εξηγείται ο αλγόριθμος της εκπαίδευσης για την εύρεση αντιπροσωπευτικών τιμών για τα χαρακτηριστικά των περιοχών που αντιστοιχούν σε ανιχνεύσιμες δομές.

Ο βασικότερος αλγόριθμος παρουσιάζεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3, όπου επισημαίνονται οι μέθοδοι αναγνώρισης των ανιχνεύσιμων δομών, κυρίως των παραθύρων. Η ανάλυση των τεχνικών συνοδεύεται από παραδείγματα που αναδεικνύουν την χρησιμότητα κάθε μιας απ' αυτές. Τα αποτελέσματα και ο σχολιασμός τους αναφέρονται στο κεφάλαιο 4. Τέλος, το κεφάλαιο 5 περιέχει τον

επίλογο με τα συμπεράσματα μας και πιθανούς τρόπους που μπορούν να βελτιώσουν τα αποτελέσματα της εργασίας μας.

Κεφάλαιο 2

Εξαγωγή Χαρακτηριστικών

2.1 Γενική περιγραφή

Σκοπός αυτού του αλγόριθμου είναι ο προσδιορισμός των αντιπροσωπευτικών τιμών των χαρακτηριστικών που περιγράφουν τις περιοχές που αντιστοιχούν σε ανιχνεύσιμα δομικά στοιχεία. Οι τιμές αυτές θα αξιοποιηθούν αργότερα από την πρώτη τεχνική που εφαρμόζει ο αλγόριθμος αναγνώρισης. Για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός, αρχικά επιλέγεται ένα υποσύνολο εικόνων από μια συλλογή με προσόψεις κτιρίων, το οποίο θα αποτελέσει το δείγμα εκπαίδευσης (training set). Το κριτήριο επιλογής μιας εικόνας ως μέλος του δείγματος είναι η ποιότητα της τμηματοποιημένης εικόνας της. Επιλέγονται, δηλαδή, εικόνες των οποίων η τμηματοποίηση μας παρέχει περιοχές οι οποίες προσεγγίζουν όσο το δυνατόν ακριβέστερα τις ανιχνεύσιμες δομές.

Στη συνέχεια, ο χρήστης πρέπει για κάθε εικόνα του συνόλου εκπαίδευσης να επιλέξει ποιες από τις περιοχές της τμηματοποιημένης εικόνας αντιστοιχούν σε ανιχνεύσιμες δομές, ώστε να υπολογιστούν οι τιμές των χαρακτηριστικών γι' αυτές. Αφού ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία, υπολογίζεται η μέση τιμή για κάθε χαρακτηριστικό κάθε ανιχνεύσιμης δομής.

2.2 Καθοδηγούμενη μάθηση και προσδιορισμός αντιπροσωπευτικών τιμών των χαρακτηριστικών

Σε αυτό το βήμα εξετάζονται όλες οι περιοχές από τις οποίες αποτελείται καθεμία από τις τμηματοποιημένες εικόνες του συνόλου εκπαίδευσης, εκτός απ' αυτές που το μέγεθος τους είναι πολύ μικρό. Έτσι, στην πλειονότητα των περιπτώσεων το πλήθος των περιοχών που προκύπτουν είναι 30-40 για κάθε εικόνα, από τις οποίες ο χρήστης πρέπει να επιλέξει ποιες αντιστοιχούν σε ανιχνεύσιμες δομές, έχοντας όμως ταυτόχρονα μια ποιοτική απεικόνιση των περιοχών αυτών.

Σε κάθε τμηματοποιημένη εικόνα του συνόλου εκπαίδευσης, κάθε περιοχή ταυτοποιείται με ένα μοναδικό αναγνωριστικό και εμφανίζεται στον χρήστη υπό τη μορφή δυαδικής εικόνας, όπου τα εικονοστοιχεία της περιοχής έχουν την τιμή 1 και όλα τα υπόλοιπα την τιμή 0. Μ' αυτόν τον τρόπο είναι ευκολότερο για τον χρήστη να διακρίνει την περιοχή και να κρίνει αν έχει μια ποιοτικά ικανοποιητική απεικόνιση. Μετά που θα εμφανιστούν όλες οι περιοχές της εικόνας σε δυαδική μορφή, του ζητείται να εισάγει τα αναγνωριστικά των περιοχών που αντιστοιχούν σε ουρανό, παράθυρα και τοίχο. Τέλος, οι τιμές των χαρακτηριστικών των περιοχών που επιλέχθηκαν από τον χρήστη αποθηκεύονται σε τρία αρχεία, ένα για κάθε ανιχνεύσιμη δομή.

Για τον προσδιορισμό αντιπροσωπευτικών τιμών, τα αρχεία με τις τιμές διαβάζονται και υπολογίζουμε το κέντρο μάζας των τιμών κάθε χαρακτηριστικού, το

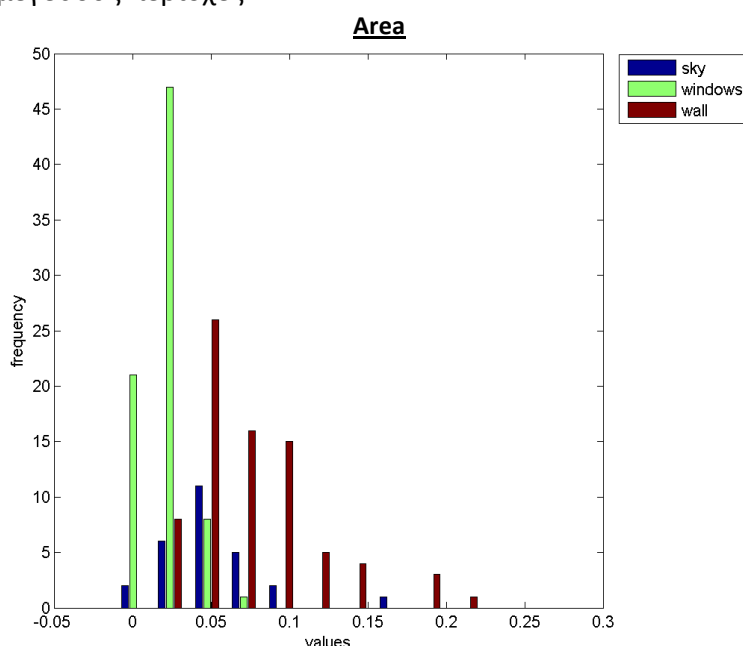
οποίο αποτελεί την αντιπροσωπευτική τιμή γι' αυτό. Για την απόκτηση πληρέστερης εικόνας της κατανομής των τιμών των χαρακτηριστικών για κάθε ανιχνεύσιμη δομή υπολογίζονται και απεικονίζονται ιστογράμματα των τιμών.

2.3 Επιλογή περιγραφικών χαρακτηριστικών

Στην εργασία [2], παρουσιάζεται μια εμπειρική μελέτη αξιολόγησης έξι διαφορετικών συνόλων από χαρακτηριστικά κάποια από τα οποία χρησιμοποιούνται και στην προσέγγιση μας. Παρόλο που στην εργασία αυτή, η διαδικασία τμηματοποίησης και του τρόπου επιλογής χαρακτηριστικών είναι διαφορετική από την προσέγγιση μας, γίνεται φανερή η αποτελεσματικότητα περιγραφής των εξεταζόμενων χαρακτηριστικών. Επίσης, στην εργασία [14] αξιοποιούνται χαρακτηριστικά παρόμοια μ' αυτά που αναλύονται παρακάτω. Τα χαρακτηριστικά των περιοχών τα οποία κρίνονται ικανά να περιγράψουν αυτές που αντιστοιχούν σε παράθυρα και τοίχο παρουσιάζονται παρακάτω. Τα ιστογράμματα που ακολουθούν έχουν προκύψει από μια συλλογή 20 εικόνων από τις οποίες αναγνωρίστηκαν 78 περιοχές τοίχου και 77 περιοχές παραθύρων.

➤ Ποσοστιαίο μέγεθος περιοχής

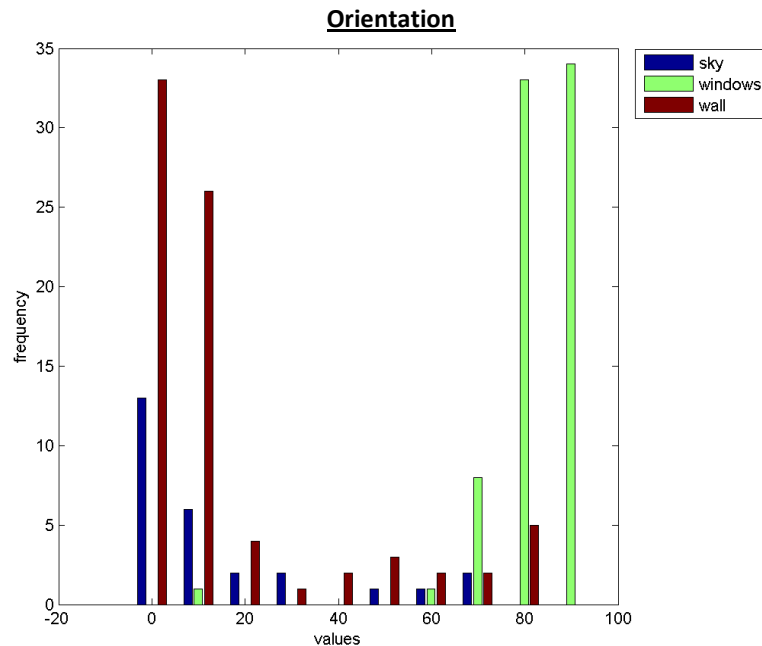
Το ποσοστιαίο μέγεθος (area) μιας περιοχής είναι χρήσιμο μόνο για την αναγνώριση των παραθύρων, καθώς δεν παρατηρείται υψηλή διακύμανση στις τιμές των περιοχών αυτών. Ενώ στις περιοχές του τοίχου η διακύμανση των τιμών αυτού του χαρακτηριστικού είναι μεγάλη. Αυτό ισχύει επειδή ο τοίχος καλύπτει συνήθως μεγαλύτερο μέρος της πρόσοψης, απ' ότι τα παράθυρα, έτσι είναι πιο πιθανόν να τμηματοποιηθεί περισσότερο σε ποικίλου μεγέθους περιοχές.



Σχήμα 2.1: Ιστόγραμμα τιμών του ποσοστιαίου μεγέθους περιοχής των ανιχνεύσιμων δομικών στοιχείων

➤ Προσανατολισμός

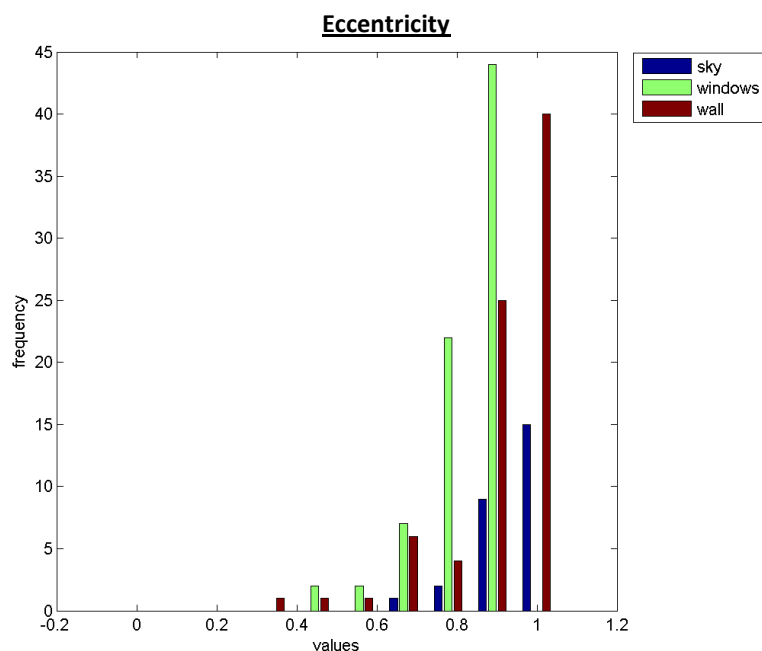
Ο προσανατολισμός (orientation) μιας περιοχής ορίζεται ως η γωνία μεταξύ του οριζόντιου άξονα x και του κύριου άξονα της έλλειψης που έχει τις ίδιες ροπές δεύτερης τάξης με την περιοχή. Αυτή η πληροφορία χρησιμοποιείται για την περιγραφή περιοχών που αντιστοιχούν σε παράθυρα καθώς έχουν κάθετο προσανατολισμό ($>70^\circ$). Επίσης, στις περιοχές του τοίχου δεν είναι τόσο σαφές κάποιο όριο προσανατολισμού, παρατηρείται όμως μια σχετική συγκέντρωση των τιμών στο διάστημα $0^\circ - 30^\circ$.



Σχήμα 2.2: Ιστόγραμμα τιμών του προσανατολισμού των ανιχνεύσιμων δομικών στοιχείων

➤ Εκκεντρότητα

Άλλο ένα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η εκκεντρότητα (eccentricity) μιας περιοχής, η οποία ορίζεται ως η εκκεντρότητα της έλλειψης που έχει τις ίδιες ροπές δεύτερης τάξης με την περιοχή. Το εύρος τιμών κυμαίνεται από το 0, το οποίο χαρακτηρίζει ένα κύκλο, έως το 1, το οποίο δηλώνει ότι πρόκειται για ένα ευθύγραμμο τμήμα. Όλες οι περιοχές των ανιχνεύσιμων δομών μας δίνουν υψηλή εκκεντρότητα, επειδή η πλειονότητα αυτών των περιοχών προσεγγίζουν πολύ περισσότερο ένα ευθύγραμμο τμήμα παρά ένα κύκλο, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες περιοχές.



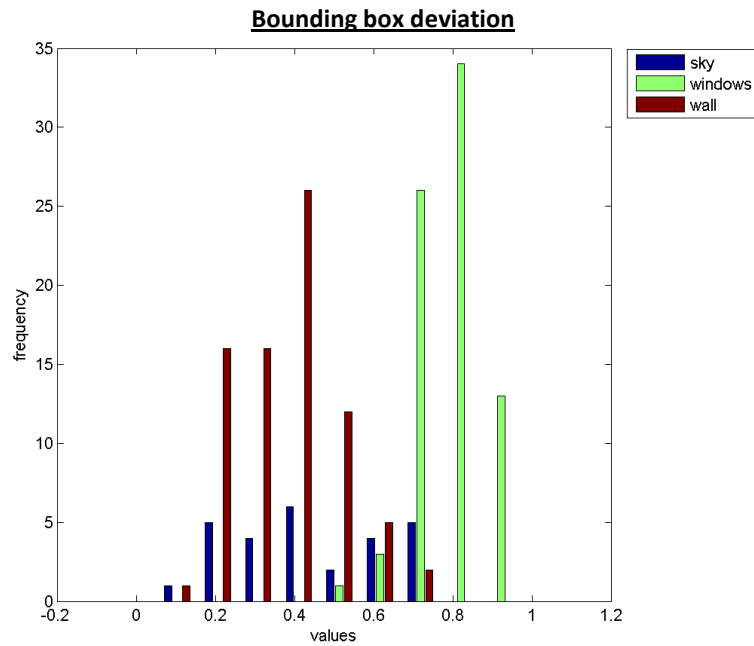
Σχήμα 2.3: Ιστόγραμμα τιμών της εκκεντρότητας των ανιχνεύσιμων δομικών στοιχείων

➤ *Κέντρο μάζας*

Το κέντρο μάζας (centroid) μας βοηθάει να εντοπίσουμε την θέση μιας περιοχής, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο θέσης. Δηλαδή, οι περιοχές του ουρανού σε μια εικόνα πρόσοψης πρέπει να είναι στην πάνω μεριά, οι περιοχές των παραθύρων κάπου στη μέση, ούτε πολύ χαμηλά, ούτε πολύ ψηλά. Οι πιθανές θέσεις των περιοχών του τοίχου δεν παρουσιάζουν κάποιο ξεκάθαρο περιορισμό.

➤ *Απόκλιση ορθογώνιου περιγράμματος(bounding box deviation)*

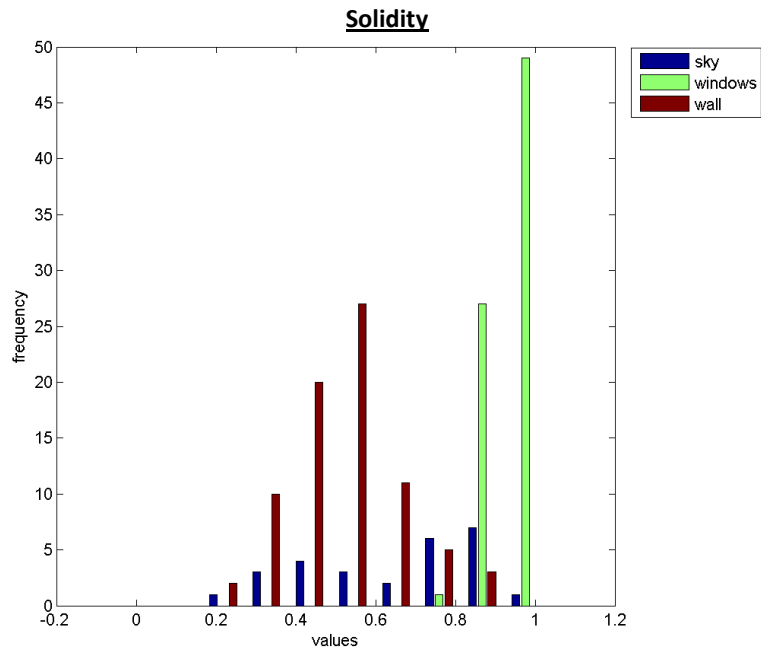
Ο λόγος του πλήθους των εικονοστοιχείων σε μια περιοχή προς το πλήθος των εικονοστοιχείων της περιοχής που ορίζεται από το ορθογώνιο περίγραμμα της πρώτης αποτελεί ένα δείκτη βαθμού ομοιότητας αυτών των δυο περιοχών. Αυτό το χαρακτηριστικό, δηλαδή, προσδιορίζει κατά πόσο μοιάζει ή διαφέρει το σχήμα μιας περιοχής με ορθογώνιο. Αυτή η ιδιότητα είναι χρήσιμη για τις περιοχές των παραθύρων, το σχήμα των οποίων προσεγγίζει αρκετά το ορθογώνιο. Αντιθέτως, το σχήμα των περιοχών των δυο άλλων ανιχνεύσιμων δομών δεν είναι απαραίτητα ορθογώνιο.



Σχήμα 2.4: Ιστογράμμα τιμών της απόκλισης ορθογώνιου περιγράμματος των ανιχνεύσιμων δομικών στοιχείων

➤ *(Στερεότητα) Λόγος περιοχής ως προς το κυρτό περίβλημα της*

Η στερεότητα (solidity) ορίζεται ως το ποσοστό των εικονοστοιχείων που ανήκουν στο κυρτό περίβλημα μιας περιοχής και στην ίδια την περιοχή. Επειδή το σχήμα των περιοχών των παραθύρων προσεγγίζει το ορθογώνιο, η στερεότητα αυτών των περιοχών είναι υψηλή. Αυτό το χαρακτηριστικό έχει παρόμοια χρησιμότητα με το προηγούμενο, καθώς και τα δυο βασίζονται στο σχήμα των ορίων μιας περιοχής. Όπως, λοιπόν και προηγουμένως το χαρακτηριστικό αυτό χρησιμοποιείται μόνο για τις περιοχές των παραθύρων.



Σχήμα 2.5: Ιστόγραμμα τιμών της στερεότητας των ανιχνεύσιμων δομικών στοιχείων

Τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν περιγράφουν ακριβέστερα το σχήμα των περιοχών που αντιστοιχούν σε ανιχνεύσιμες δομές. Αντιθέτως, χαρακτηριστικά όπως τα ακραία σημεία μιας περιοχής και ο αριθμός Euler δεν προσφέρουν χρήσιμη πληροφορία για την ταξινόμηση των περιοχών μιας τμηματοποιημένης πρόσοψης. Για παράδειγμα, ο αριθμός Euler, ο οποίος προσδιορίζει τον αριθμό των αντικειμένων σε μια περιοχή αν αφαιρεθεί το πλήθος των οπών που υπάρχουν σ' αυτά, δεν μπορεί να αξιοποιηθεί καθώς το πλήθος των οπών εξαρτάται από το αποτέλεσμα της τμηματοποίησης. Άρα, οι περιοχές των ανιχνεύσιμων δομών δεν μπορούν να χαρακτηριστούν μέσω αυτού του πλήθους, εφόσον ενδεχομένως να υπάρχει ένα σύννεφο στον ουρανό, σκελετός στα παράθυρα, μια ταμπέλα στον τοίχο που πιθανόν να δημιουργήσουν μια οπή σ' αυτές τις περιοχές. Δηλαδή, παρατηρούνται πολλές παραλλαγές στην εμφάνιση των ανιχνεύσιμων δομών, έτσι σε κάποιες περιπτώσεις θα υπάρχουν οπές και σε άλλες καμία.

Κεφάλαιο 3

Αναγνώριση Δομικών Στοιχείων

3.1 Γενική Περιγραφή

Ο αλγόριθμος αυτός παίρνει ως είσοδο την αρχική, την τμηματοποιημένη εικόνα της πρόσοψης ενός κτιρίου και τις αντιπροσωπευτικές τιμές για τα χαρακτηριστικά (εκκεντρότητα, προσανατολισμός, κ.α) κάθε ανιχνεύσιμης δομής. Κάνοντας χρήση της εισόδου επιχειρείται ο προσδιορισμός των περιοχών της εικόνας που αντιστοιχούν σε τοίχο και παράθυρα, δίνοντας ιδιαίτερη σημασία στην τελευταία κατηγορία. Οι περιοχές του ουρανού εντοπίζονται στο τελευταίο στάδιο αυτού του αλγορίθμου βάση των περιοχών που έχουν αναγνωριστεί ως παράθυρα και τοίχος. Η έξοδος του αλγορίθμου είναι τρεις απεικονίσεις της αρχικής εικόνας, μια για κάθε κατηγορία δομών, όπου επισημαίνονται χρωματικά τα όρια των ανιχνευμένων περιοχών.

Πιο συγκεκριμένα, μετά την ανάγνωση εικόνων γίνεται κατάλληλη μεταβολή της ανάλυσης ώστε να είναι ευκολότερα διαχειρίσιμες καθώς και ανάγνωση των αντιπροσωπευτικών τιμών για τα χαρακτηριστικά από τα κατάλληλα αρχεία. Έπειτα, η διαδικασία ανίχνευσης δομών ξεκινάει με κάποιους συνδυασμούς συνθηκών οι οποίοι βασίζονται στις αντιπροσωπευτικές τιμές των χαρακτηριστικών και τις τιμές χαρακτηριστικών κάθε περιοχής που προκύπτει από την τμηματοποίηση. Με αυτό τον τρόπο, έχουμε μια αρχική κατάταξη ορισμένων περιοχών στις ομάδες του τοίχου και των παραθύρων, η οποία θα αποτελέσει βάση για τα μετέπειτα βήματα τα οποία στοχεύουν στον όσο το δυνατό ακριβέστερο προσδιορισμό των περιοχών που αντιστοιχούν σε παράθυρα. Μετά την ολοκλήρωση κάθε τέτοιου βήματος παρουσιάζονται εικόνες όπου φαίνεται ποιες περιοχές ήταν πιθανό ανήκουν στην κατηγορία των παραθύρων και ποιες τελικά όντως κατάφεραν να καταταχθούν.

Η μέθοδος αναγνώρισης των περιοχών που αντιστοιχούν σε ουρανό ξεκινά όταν έχουν ολοκληρωθεί όλες οι τεχνικές ανίχνευσης που αναλύονται παρακάτω, βρίσκοντας εκείνες τις περιοχές από την τμηματοποιημένη εικόνα της πρόσοψης, οι οποίες απομένουν αν εξαιρέσουμε την ένωση των περιοχών του τοίχου και των παραθύρων. Μ' αυτόν τον τρόπο, πιθανόν να υπάρχουν μερικές μικρές περιοχές γειτονικές σ' αυτές του τοίχου και των παραθύρων οι οποίες δεν έχουν ταξινομηθεί σε καμιά από τις ανιχνεύσιμες δομές. Γι' αυτό το λόγο, όποια περιοχή βρίσκεται κάτω από το ύψος του υψηλότερου παραθύρου και της μισής μέσης τιμής του ύψους των παραθύρων που έχουν ανιχνευτεί στην πρόσοψη απορρίπτεται (ως περιοχή ουρανού). Έτσι αν υπάρχει μια ικανοποιητική ανίχνευση των περιοχών του τοίχου και των παραθύρων, προσδιορίζονται ακριβέστερα οι περιοχές του ουρανού.

Αναλυτικότερα, μπορεί να εξεταστεί η διαδικασία ανίχνευσης των περιοχών του τοίχου και των παραθύρων η οποία αποτελείται από πέντε τεχνικές, εκ των οποίων μόνο η πρώτη χρησιμοποιείται και για τις περιοχές του τοίχου. Οι τεχνικές περιγράφονται κατά σειρά εφαρμογής παρακάτω:

- *Κριτήρια χαρακτηριστικών*
- *Cross - Διασταύρωση γραμμών από κέντρα*
- *Moving window - Αντιγραφή παραθύρων σε διασταυρώσεις γραμμών από κέντρα*
- *Insertion - Επέκταση παραθύρων ανά όροφο*
- *Svd (Singular value decomposition)*

3.2 Κριτήρια χαρακτηριστικών

Αρχικά, εξάγονται για κάθε περιοχή της τμηματοποιημένης εικόνας οι τιμές των περιγραφικών χαρακτηριστικών που περιγράψαμε στο τμήμα 2.3. Μετά ακολουθεί ο έλεγχος συνδυασμών από συνθήκες οι οποίες προέκυψαν κυρίως από τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τις καθολικές αρχιτεκτονικές αρχές της πρόσοψης κτιρίων και την παρατήρηση των κατανομών των τιμών των χαρακτηριστικών μέσω των ιστογραμμάτων. Αυτοί οι συνδυασμοί συνθηκών κατατάσσουν τις περιοχές σε μια από τις τέσσερις ομάδες που περιγράφονται στη συνέχεια.

Πρώτα γίνεται έλεγχος μέσω των συνθηκών για το αν η εξεταζόμενη περιοχή ανήκει στα παράθυρα και μετά στο τοίχο. Αν δεν ανήκει σε καμία από τις παραπάνω δομές, ελέγχεται αν ικανοποιεί ένα συνδυασμό συνθηκών που παραπέμπουν σε περιοχή η οποία δεν θα έπρεπε να αντιστοιχεί σε παράθυρο. Ο σκοπός αυτού του ελέγχου είναι να αγνοηθούν αυτές οι περιοχές. Τέλος, στην περίπτωση που η εξεταζόμενη περιοχή δεν ικανοποιεί ούτε αυτό το συνδυασμό συνθηκών, κατατάσσεται σε μια ομάδα περιοχών η οποία χρησιμοποιείται από τα μεταγενέστερα βήματα. Σ' αυτή τη κατηγορία (ας την ονομάσουμε 'possible'), ανήκουν οι περιοχές που είναι σχετικά πιθανό να αντιστοιχούν σε παράθυρα. Αυτές οι περιοχές δεν συμπεριλαμβάνονται στην ομάδα των παραθύρων, επειδή είναι σημαντικό σ' αυτή τη φάση να ανιχνευτούν περιοχές ως παράθυρα με μεγάλη ακρίβεια, ώστε να μην οδηγηθούμε σε πιθανά λάθη στα επόμενα βήματα.

3.2.1 Αναλυτική περιγραφή συνδυασμών από κριτήρια χαρακτηριστικών

Αναλυτικότερα, αυτή η τεχνική αξιοποιεί τις αντιπροσωπευτικές (μέσες) τιμές των χαρακτηριστικών των περιοχών που επιλέχθηκαν κατά την διαδικασία της καθοδηγούμενης μάθησης για κάθε ανιχνεύσιμη δομή (εκτός του ουρανού) και λίγες απόλυτες τιμές που προέκυψαν από παρατήρηση/πειραματισμό, προκειμένου να αποφασιστεί με σχετική ακρίβεια ποιές περιοχές ανήκουν σε μια από τις παρακάτω ομάδες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μετά από παρατήρηση των ιστογραμμάτων των τιμών και της αντιπροσωπευτικής τιμής ενός χαρακτηριστικού, χρησιμοποιήθηκε μια μικρή απόκλιση (offset) από την αντιπροσωπευτική τιμή,

ώστε να μην αποκλειστούν περιοχές που όντως αντιστοιχούν σε κάποια από τις παρακάτω ομάδες. Οι ομάδες που περιγράφονται μέσω συνδυασμών από κριτήρια χαρακτηριστικών είναι:

➤ *Παράθυρα*

Μια περιοχή κατατάσσεται στην ομάδα των παραθύρων όταν ισχύουν όλα τα παρακάτω:

- ο προσανατολισμός της είναι μεγαλύτερος από την αντιπροσωπευτική τιμή του
- το ποσοστιαίο μέγεθος είναι μικρότερο από το διπλάσιο της αντιπροσωπευτικής τιμής του
- η στερεότητα είναι μεγαλύτερη από την αντιπροσωπευτική τιμή της
- η εκκεντρότητα είναι μεγαλύτερη από την αντιπροσωπευτική τιμή της
- η απόκλιση της από την περιοχή που ορίζεται από το ορθογώνιο περίγραμμα της είναι μεγαλύτερη από την αντιπροσωπευτική τιμή της
- η τεταγμένη του κέντρου μάζας της περιοχής είναι μικρότερη από τα $7/8$ του ύψους (κάθετης διάστασης) της εικόνας

➤ *Τοίχος*

Μια περιοχή κατατάσσεται στην ομάδα του τοίχου όταν ισχύουν όλα τα παρακάτω:

- ο προσανατολισμός της είναι μικρότερος από την αντιπροσωπευτική τιμή του
- η εκκεντρότητα είναι μεγαλύτερη από το την αντιπροσωπευτική τιμή της

➤ *Περιοχές που δεν θα έπρεπε αντιστοιχούν σε παράθυρα*

Μια περιοχή κατατάσσεται σ' αυτήν την ομάδα όταν ισχύει τουλάχιστον ένα από τα παρακάτω:

- η εκκεντρότητα είναι ιδιαίτερα υψηλή ή χαμηλή, μεγαλύτερη από την μέγιστη τιμή ή αντίστοιχα μικρότερη από την ελάχιστη τιμή που έχουν οι περιοχές των παραθύρων που επιλέχθηκαν στην διαδικασία της καθοδηγούμενης μάθησης
- η τεταγμένη του κέντρου μάζας της περιοχής είναι μικρότερη από το $1/5$ ή μεγαλύτερη από τα $7/8$ του ύψους (κάθετης διάστασης) της εικόνας

- η στερεότητα είναι μικρότερη από την ελάχιστη τιμή που έχουν οι περιοχές των παραθύρων που επιλέχθηκαν στην διαδικασία της καθοδηγούμενης μάθησης
- η απόκλιση της από την περιοχή που ορίζεται από το ορθογώνιο περιγράμμα της είναι μικρότερη από την ελάχιστη τιμή που έχουν οι περιοχές των παραθύρων που επιλέχθηκαν στην διαδικασία της καθοδηγούμενης μάθησης
- ο προσανατολισμός της είναι μικρότερος από την ελάχιστη τιμή που έχουν οι περιοχές των παραθύρων που επιλέχθηκαν στην διαδικασία της καθοδηγούμενης μάθησης
- το ποσοστιαίο μέγεθος είναι ιδιαίτερα υψηλό ή χαμηλό, μεγαλύτερο από την μέγιστη τιμή ή αντίστοιχα μικρότερο από την ελάχιστη τιμή που έχουν οι περιοχές των παραθύρων που επιλέχθηκαν στην διαδικασία της καθοδηγούμενης μάθησης

➤ *Possible*

Μια περιοχή κατατάσσεται στην ομάδα 'possible' όταν οι τιμές των περιγραφικών χαρακτηριστικών της δεν ικανοποιούν κανένα από τους παραπάνω συνδυασμούς κριτηρίων.

3.2.2 Αποφυγή Λανθασμένων αναγνωρίσεων

Ένα μέτρο που εφαρμόζεται για την αποφυγή λανθασμένων αναγνωρίσεων για τις περιοχές των παραθύρων είναι ο έλεγχος της διαφοράς της μέσης κατανομής για κάθε χρωματικό κανάλι των εικονοστοιχείων όλων των περιοχών που έχουν ταυτοποιηθεί ως παράθυρα και της κατανομής κάθε χρωματικού καναλιού των εικονοστοιχείων κάθε ανιχνεύσιμης ως παράθυρο περιοχής. Δηλαδή, για κάθε περιοχή που ανήκει στην ομάδα των παραθύρων υπολογίζονται οι τρεις κατανομές που αντιστοιχούν στα τρία χρωματικά κανάλια του RGB και συγκρίνονται κατά αντιστοιχία με τις τρεις μέσες κατανομές των χρωματικών καναλιών που προκύπτουν απ' όλες τις περιοχές που ανήκουν στην ομάδα των παραθύρων.

Για τον υπολογισμό των κατανομών χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος kde (kernel density estimator) [12], ο οποίος προσεγγίζει την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των τιμών από τα χρωματικά κανάλια και μας επιστρέφει την κατανομή των τιμών αυτών σε 128 ίσα διαστήματα στο εύρος 0 - 255. Έτσι, αφού έχουν προσδιοριστεί οι προαναφερθείσες κατανομές, συγκρίνονται σύμφωνα με την απόσταση Bhattacharyya [13], η οποία μετράει την διαφορά δυο κατανομών ώστε να μπορεί να αποφασιστεί ο βαθμός ομοιότητας τους. Αν η διαφορά των κατανομών των χρωματικών καναλιών που προκύπτει για μια περιοχή που θεωρείται παράθυρο είναι μεγάλη (το όριο έχει προκύψει πειραματικά) τότε αφαιρείται απ' την ομάδα. Έτσι, βασιζόμεστε στην ακρίβεια αυτής της τεχνικής αναγνώρισης, ότι δηλαδή στην συντριπτική πλειονότητα των περιπτώσεων οι

περισσότερες περιοχές που θα αναγνωριστούν σ' αυτό το βήμα θα είναι όντως παράθυρα. Μ' αυτόν τον τρόπο, αν κάποια περιοχή προστεθεί λανθασμένα στην ομάδα των παραθύρων, αυτός ο έλεγχος θα την αφαιρέσει.

Στα παραδείγματα αναγνώρισης παραθύρων που ακολουθούν έχει χρησιμοποιηθεί χρωματικός κώδικας στα ορθογώνια πλαίσια που εμφανίζονται ώστε να είναι φανερό με ποια τεχνική αναγνωρίστηκε κάθε παράθυρο. Στο υπόμνημα το οποίο συνοδεύει το αποτέλεσμα του αλγορίθμου αναγνώρισης δηλώνεται η αντιστοιχία χρώματος με τεχνική.

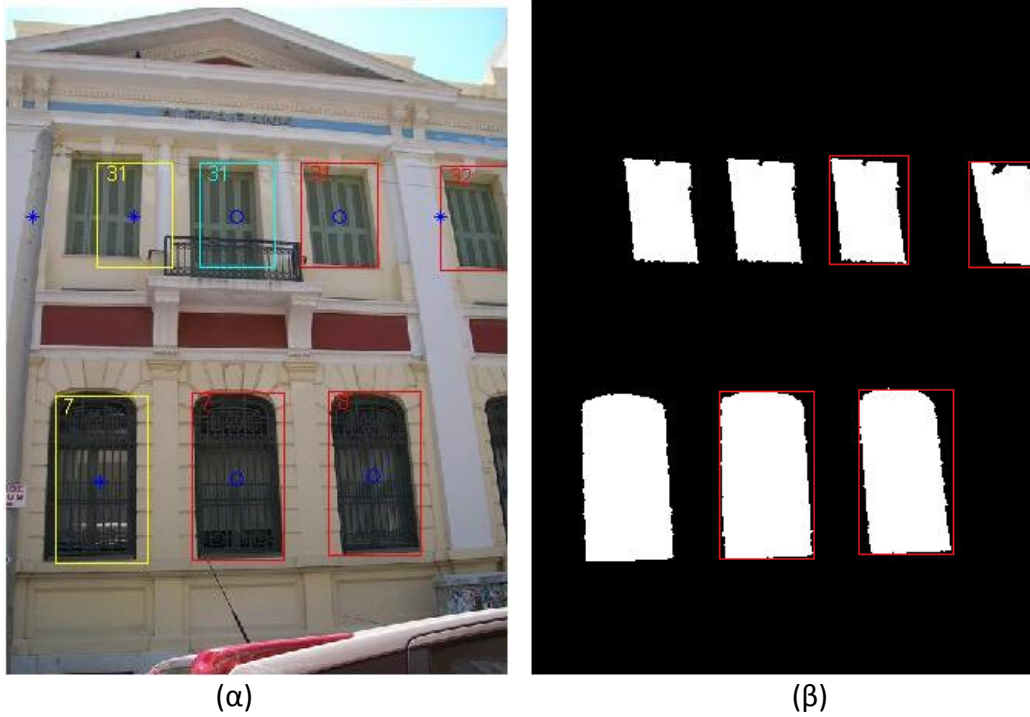


Σχήμα 3.1: Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου αποφυγής λανθασμένων αναγνώρισεων παραθύρων

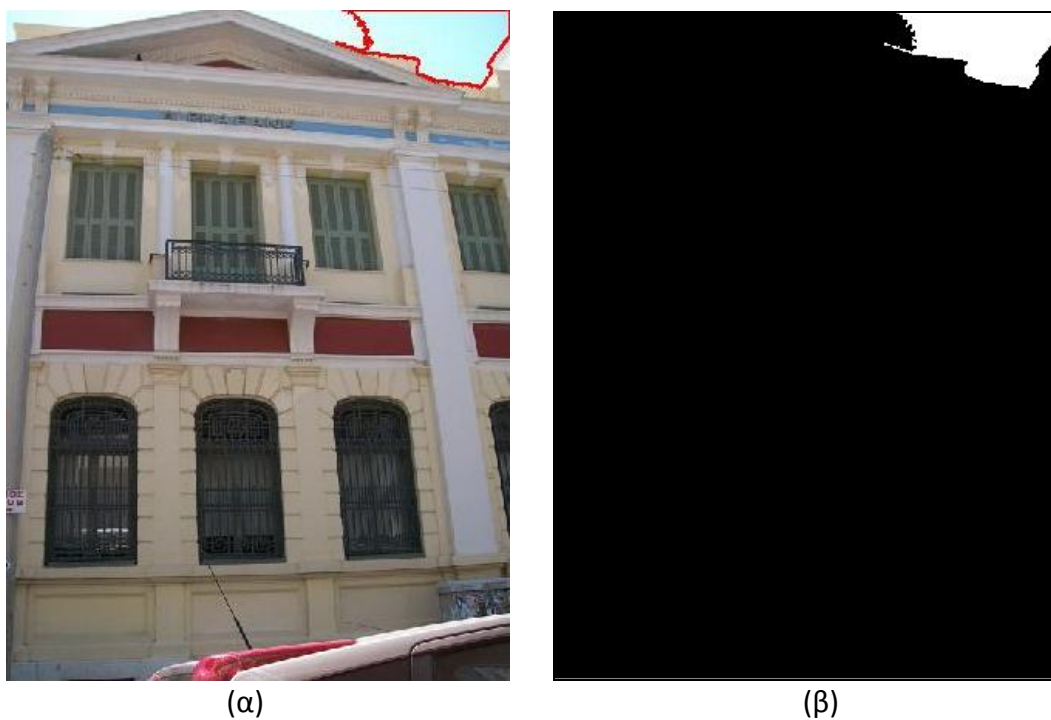
Στο σχήμα 3.1 επισημαίνονται οι αναγνωρισμένες περιοχές που αντιστοιχούν σε παράθυρα, προβάλλοντας ένα ορθογώνιο περίγραμμα (bounding box) για κάθε τέτοια περιοχή. Η ίδια τεχνική επισήμανσης χρησιμοποιείται σε όλα τα παραδείγματα αναγνώρισης παραθύρων που ακολουθούν.

Σ' αυτό το παράδειγμα, αφαιρείται μια λανθασμένα αναγνωρισμένη ως παράθυρο περιοχή από τα κριτήρια χαρακτηριστικών. Έχοντας λοιπόν ανιχνεύσει επιτυχώς 3 από τις 4 συνολικά περιοχές (κόκκινο πλαίσιο), μπορούν να υπολογιστούν αντιπροσωπευτικές κατανομές των τριών χρωματικών καναλιών οι οποίες έχουν μεγάλη διαφορά από τις αντίστοιχες κατανομές στην λανθασμένα αναγνωρισμένη περιοχή (κολώνα). Έτσι η περιοχή στην κάτω μεριά της εικόνας που αρχικά έχει προστεθεί στην ομάδα των παραθύρων, αφαιρείται. Οι περιοχές που

αφαιρούνται με την εφαρμογή αυτού του μέτρου επισημαίνονται γράφοντας με σκούρο μπλε το αναγνωριστικό της περιοχής και μετά την λέξη 'Removed'.



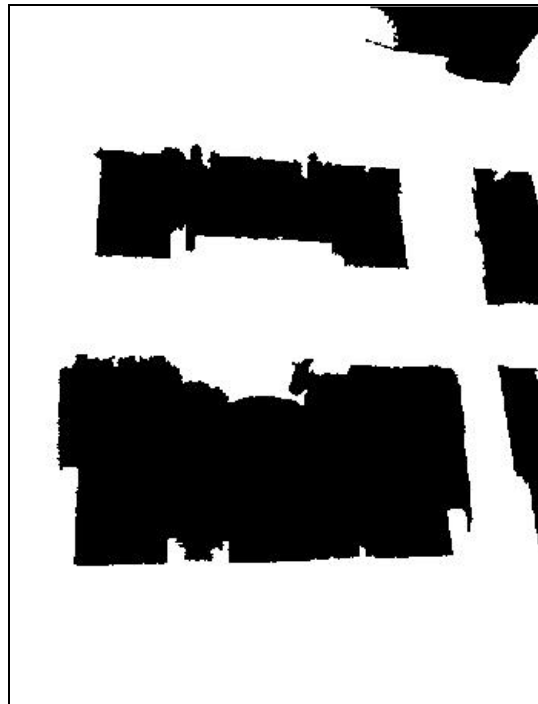
Σχήμα 3.2: Παράδειγμα αναγνώρισης παραθύρων από την τεχνική 'Κριτήρια χαρακτηριστικών'



Σχήμα 3.3: Παράδειγμα αναγνώρισης ουρανού



(α)



(β)

Σχήμα 3.4: Παράδειγμα αναγνώρισης τοίχου από την τεχνική ‘Κριτήρια χαρακτηριστικών’

Παραπάνω φαίνονται με κόκκινο περίγραμμα οι περιοχές που έχουν αναγνωρισθεί ως παράθυρα, και τοίχος από την πρώτη τεχνική που μόλις αναλύσαμε. Επίσης, φαίνεται ένα παράδειγμα αναγνώρισης του ουρανού όπως αυτό προκύπτει στο τέλος αυτού του αλγορίθμου. Αριστερά απεικονίζεται η αρχική εικόνα και δεξιά η τμηματοποιημένη. Με άσπρο απεικονίζεται η ανιχνεύσιμη δομή στις τμηματοποιημένες εικόνες.

3.3 Cross - Διασταύρωση γραμμών από κέντρα

Οι τεχνικές αναγνώρισης που θα αναλυθούν σ’ αυτό και τα υπόλοιπα τμήματα σκοπεύουν αποκλειστικά και μόνο στην εύρεση περισσότερων περιοχών που αντιστοιχούν σε παράθυρα. Η λογική αυτής της μεθόδου είναι να εξετάσουμε ποιες από τις περιοχές της ομάδας ‘possible’ που είχαμε σχηματίσει στο τμήμα 3.2, είναι αρκετά πιθανό να απεικονίζουν παράθυρα. Αυτή η μέθοδος εκμεταλλεύεται την συμμετρία και περιοδικότητα που χαρακτηρίζουν τις περιοχές των παραθύρων.

Για να το καταφέρουμε αυτό, σε πρώτο βήμα βρίσκουμε τα σημεία τομής των οριζόντιων και των κάθετων ευθειών που διέρχονται από το κέντρο μάζας όλων των περιοχών που έχουν αναγνωρισθεί μέχρι τότε ως παράθυρα. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε περιοχή αυτής της ομάδας βρίσκουμε το κέντρο μάζας της και σχηματίζουμε μια οριζόντια και μια κάθετη ευθεία που να διέρχεται από αυτό το κέντρο. Μετά ελέγχουμε αν υπάρχουν σημεία τομής μεταξύ όλων αυτών των ευθειών. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία που περιγράφεται στο επόμενο τμήμα το 3.3.1, μια περιοχή μπορεί να ‘μεταφερθεί’ από την ομάδα ‘possible’ στην ομάδα

των παραθύρων εάν σ' αυτήν την περιοχή υπάρχει ένα από τα σημεία τομής που βρήκαμε. Κάθε περιοχή που προστίθεται στην ομάδα των παραθύρων παρουσιάζονται τα όρια της με πράσινο χρώμα. Επίσης, αφαιρείται το σημείο τομής από το σύνολο σημείων που είχαμε βρει στο τμήμα 3.3.1.

3.3.1 Επιλογή κοντινότερο σημείου τομής

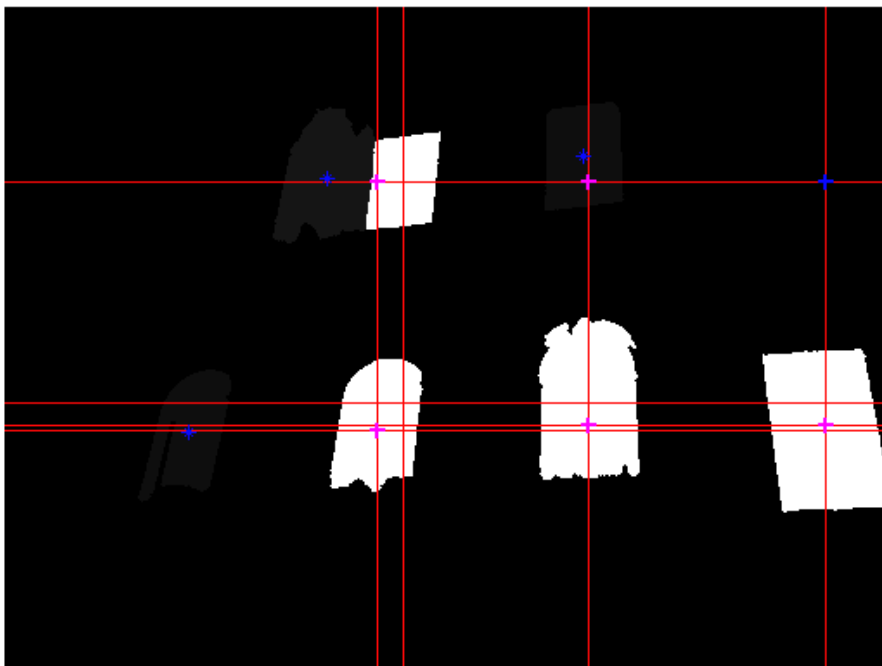
Επειδή συχνά παρατηρείται το φαινόμενο της ύπαρξης ομάδων από πολλαπλά γειτονικά σημεία τομής που καταδεικνύουν προς την ίδια περιοχή, επιλέγεται να αξιοποιηθεί το σημείο τομής που έχει την ελάχιστη απόσταση από μια ήδη αναγνωρισμένη ως παράθυρο περιοχή. Για να γίνει αυτό, πρέπει τα σημεία τομής να ομαδοποιηθούν σύμφωνα με την θέση τους, ώστε από ένα σύνολο σημείων να καταλήξουμε με ένα σύνολο από σύνολα γειτονικών σημείων χωρίς όμως να ξέρουμε εκ των προτέρων το πλήθος των συνόλων από γειτονικά σημεία. Γι' αυτό υπολογίζουμε το μέσο πλάτος των παραθύρων που έχουν ανιχνευθεί έως τότε, το οποίο συγκρίνουμε με τις αποστάσεις μεταξύ όλων των σημείων τομής. Έτσι, αν μια απόσταση μεταξύ δυο σημείων τομής είναι μικρότερη από το πλάτος των παραθύρων αυτά τα δυο σημεία καταλήγουν στο ίδιο σύνολο από γειτονικά σημεία.

Από τα σύνολα γειτονικών σημείων επιλέγεται να αξιοποιηθεί το σημείο τομής που έχει την ελάχιστη απόσταση από μια ήδη αναγνωρισμένη ως παράθυρο περιοχή. Αφού ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία επιλογής για όλα τα σύνολα με γειτονικά σημεία, από ένα σύνολο από σύνολα με πολλαπλά γειτονικά σημεία τομής καταλήγουμε σε ένα σύνολο από σημεία όπου κανένα δεν είναι γειτονικό με κάποιο από τα υπόλοιπα. Αυτός ο τρόπος επιλογής των σημείων δεν βελτιώνει ιδιαίτερα τα αποτελέσματα αυτής της τεχνικής, αλλά οδηγεί σε ακριβέστερα αποτελέσματα από την επόμενη τεχνική η οποία χρησιμοποιεί κι αυτή τα σημεία τομής που προκύπτουν από το αυτό τμήμα.

Ένα παράδειγμα που αναδεικνύεται η χρησιμότητα αυτής της τεχνικής που αναλύεται στο τμήμα 3.3 φαίνεται παρακάτω.



(α)



(β)

Σχήμα 3.5: Παράδειγμα αναγνώρισης παραθύρων από την τεχνική 'cross'

Με ελαφρό γκρι χρώμα φαίνονται οι περιοχές της ομάδας 'possible', με μπλε αστερίσκο είναι τα κέντρα μάζας τους, οι κόκκινες γραμμές είναι οι κάθετες και οι οριζόντιες που διέρχονται από τα παραπάνω κέντρα μάζας, με άσπρο είναι οι περιοχές των παραθύρων που ανιχνεύτηκαν από την πρώτη τεχνική, με ροζ σταυρό είναι τα σημεία τομής των ευθειών που προκύπτουν μετά την εφαρμογή της διαδικασίας που περιγράφεται στο τμήμα 3.3.1, και με μπλε σταυρό είναι τα σημεία τομής που θα ελεγχθούν από την τεχνική moving Window ως πιθανά κέντρα για αντίγραφα των πιο κοντινών παραθύρων.

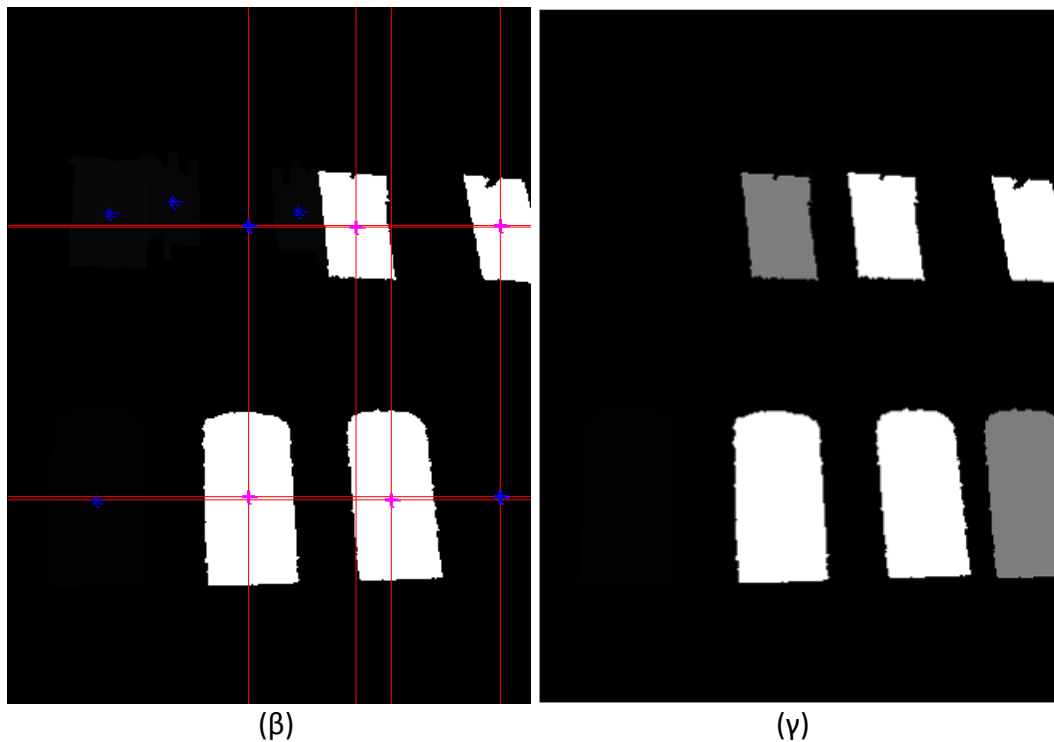
3.4 Moving window - Αντιγραφή παραθύρων σε διασταυρώσεις γραμμών από κέντρα

Αυτή η τεχνική αξιοποιεί τα σημεία τομής που προκύπτουν από το βήμα που περιγράφεται στο τμήμα 3.3.1 και τις κατανομές των τριών χρωματικών καναλιών στο RGB. Με λίγα λόγια, επιχειρείται ο έλεγχος ύπαρξης παραθύρου σ' αυτά τα σημεία τομής μέσω της αντιγραφής της πιο κοντινής περιοχής παραθύρου σε καθένα από τα σημεία τομής και σύγκρισης των τριών κατανομών των χρωματικών καναλιών της αντιγραμμένης περιοχής με αυτές της αρχικής περιοχής.

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά βρίσκονται οι περιοχές των παραθύρων που αντιστοιχούν σε κάθε ένα από τα σημεία τομής που έχουν απομείνει από την προηγούμενη τεχνική. Αυτή η αντιστοιχία ορίζεται βρίσκοντας για κάθε σημείο τομής, την περιοχή από την ομάδα των παραθύρων με την ελάχιστη απόσταση απ' αυτό. Στη συνέχεια, εξάγεται για κάθε τέτοια περιοχή το σύνολο των συντεταγμένων των εικονοστοιχείων από τα οποία αποτελείται. Έτσι, ορίζοντας μια άλλη περιοχή που αποτελείται από τα εικονοστοιχεία των μετατοπισμένων συντεταγμένων, οι οποίες προκύπτουν σύμφωνα με την απόσταση του σημείου τομής από το κέντρο μάζας της περιοχής, δημιουργούμε ουσιαστικά ένα αντίγραφο της περιοχής που επιλέχτηκε και ανήκει λόγω προηγούμενων τεχνικών στην ομάδα των παραθύρων. Αφού δημιουργηθεί το αντίγραφο υπολογίζονται οι κατανομές των χρωματικών καναλιών στην αρχική και την αντιγραμμένη περιοχή, ώστε η σύγκριση τους να μας δώσει ένα βαθμό ομοιότητας τους ο οποίος θα κρίνει αν όντως η αντιγραμμένη περιοχή πέφτει πάνω σε παράθυρο ώστε να προστεθεί στην ομάδα τους. Ο υπολογισμός των κατανομών και η σύγκριση τους περιγράφεται στην δεύτερη παράγραφο του τμήματος 3.2.2. Κάθε περιοχή που προστίθεται εξαιτίας αυτής της τεχνικής παρουσιάζονται τα όρια της με κυανό χρώμα. Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα που αναδεικνύει τη χρησιμότητα αυτής της τεχνικής.



(α)



Σχήμα 3.6: Παράδειγμα αναγνώρισης παραθύρων από την τεχνική 'moving window'

Με γκρι χρώμα φαίνονται οι περιοχές που εξετάζονται από την τεχνική moving window, με μπλε αστερίσκο είναι τα κέντρα μάζας των περιοχών της ομάδας 'possible', οι κόκκινες γραμμές είναι οι κάθετες και οι οριζόντιες που διέρχονται από τα παραπάνω κέντρα μάζας, με άσπρο είναι οι περιοχές των παραθύρων που ανιχνεύτηκαν από τις δυο πρώτες τεχνικές, με ροζ σταυρό είναι τα σημεία τομής των ευθειών που προκύπτουν μετά την εφαρμογή της διαδικασίας που περιγράφεται στο τμήμα 3.3.1, και με μπλε σταυρό είναι τα σημεία τομής που ελέγχονται από την τεχνική moving Window ως πιθανά κέντρα για αντίγραφα των πιο κοντινών παραθύρων.

3.5 Insertion - Επέκταση παραθύρων ανά όροφο

Η τεχνική που θα αναλυθεί σ' αυτό το τμήμα λαμβάνει υπ' όψιν της όλες τις περιοχές που έχουν αναγνωρισθεί έως τότε ως παράθυρα και αξιοποιώντας κυρίως την περιοδικότητα των παραθύρων σε μια πρόσοψη κτιρίου προσπαθεί να εντοπίσει περισσότερα. Σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχει στην πρόσοψη τουλάχιστον ένας όροφος με ανιχνευμένα τουλάχιστον δυο παράθυρα και πιθανόν να μην έχουν αναγνωρισθεί όλα. Για να επιτύχει λοιπόν το στόχο της αυτή η τεχνική, ομαδοποιεί τα παράθυρα ανά όροφο, ώστε σε όσους ορόφους βρεθούν τουλάχιστον δυο παράθυρα να υπολογιστεί η ελάχιστη απόσταση μεταξύ όλων των παραθύρων του ορόφου. Ακόμη, ελέγχει αν τα αντίγραφα αυτών των δυο παραθύρων, που δημιουργούνται και τοποθετούνται σε απόσταση πολλαπλάσια της ελάχιστης, έχουν παρόμοιες κατανομές στα χρωματικά κανάλια μ' αυτές των παραθύρων από τα οποία αντιγράφηκαν.

Το πρώτο βήμα είναι η ομαδοποίηση των περιοχών που ανήκουν στην ομάδα των παραθύρων ανά όροφο, στην οποία χρησιμοποιείται η μέση τιμή του ύψους των παραθύρων που έχουν βρεθεί μέχρι τότε. Ο αλγόριθμος ομαδοποίησης προκειμένου να κατατάξει τα παράθυρα συγκρίνει την διαφορά των τεταγμένων του κέντρου μάζας μεταξύ όλων των μέχρι τότε αναγνωρισμένων παραθύρων, με το μέσο ύψος των παραθύρων. Αν η διαφορά είναι μικρότερη του μέσου ύψους τότε τα δυο παράθυρα μ' αυτή την διαφορά κατατάσσονται στον ίδιο όροφο. Έτσι η ομαδοποίηση μας παρέχει ένα σύνολο από σύνολα παραθύρων του ίδιου ορόφου.

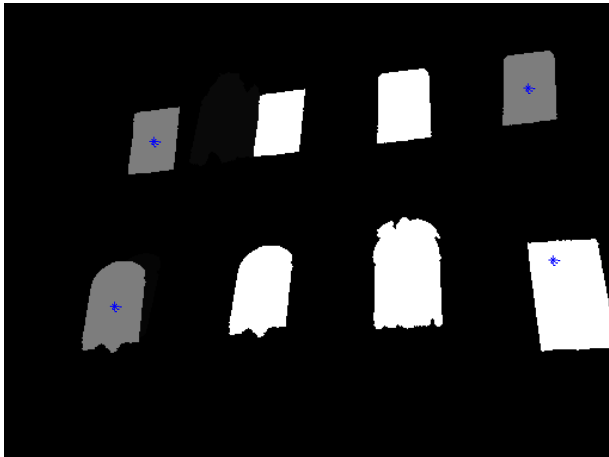
Ξέροντας τα παράθυρα κάθε ορόφου, βρίσκουμε τους ορόφους με τουλάχιστον δυο παράθυρα, ώστε να βρούμε την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των ανιχνευμένων παραθύρων, την οποία θεωρούμε ως τη αντιπροσωπευτική απόσταση που υπάρχει σ' αυτόν τον όροφο μεταξύ τους. Στο επόμενο βήμα, αντιγράφουμε το αριστερό παράθυρο προς τα αριστερά σε αποστάσεις πολλαπλάσιες της ελάχιστης που βρήκαμε προηγουμένως και το δεξί παράθυρο προς τα δεξιά με τον ίδιο τρόπο έως ότου συναντήσουμε τα όρια της εικόνας. Έχοντας, δηλαδή, βρει τα δυο παράθυρα που έχουν την ελάχιστη απόσταση σε ένα όροφο, παίρνουμε αυτό που είναι στην αριστερή μεριά και δημιουργούμε αντίγραφο του προς τα αριστερά, τα κέντρα μάζας των οποίων απέχουν κατά αυτήν την ελάχιστη απόσταση. Το ίδιο γίνεται για το παράθυρο στην δεξιά μεριά το οποίο αντιγράφεται προς τα δεξιά. Για να είναι περισσότερο ακριβής η θέση των αντιγράφων λαμβάνουμε υπ' όψιν μας την κλίση της ευθείας την οποία ορίζουν τα κέντρα μάζας των παραθύρων με την ελάχιστη απόσταση. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλους τους ορόφους με τουλάχιστον δυο παράθυρα.

Έχοντας δημιουργήσει τα αντίγραφα των παραθύρων, ελέγχουμε τη διαφορά των κατανομών των χρωματικών καναλιών στο RGB μεταξύ του παραθύρου που βρίσκεται στα αριστερά και καθενός από τα αντίγραφα που δημιουργήθηκαν απ' αυτό προς τα αριστερά του. Το ίδιο γίνεται κατά αντιστοιχία μεταξύ του δεξιού παραθύρου και των αντιγράφων του. Δηλαδή, για να αποφασίσουμε αν θα προστεθούν τελικά στην ομάδα των παραθύρων, ελέγχουμε τη διαφορά των κατανομών, η οποία αν είναι μικρή το αντίγραφο προστίθεται στην ομάδα. Ο υπολογισμός των κατανομών και η σύγκριση τους περιγράφεται στην δεύτερη παράγραφο του τμήματος 3.2.2. Κάθε περιοχή που προστίθεται εξαιτίας αυτή της τεχνικής παρουσιάζονται τα όρια της με κίτρινο χρώμα. Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα που αναδεικνύει τη χρησιμότητα αυτής της τεχνικής.



- criteria
- cross
- moving window
- insertion
- svd

(α)



(β)

Σχήμα 3.7: Παράδειγμα αναγνώρισης παραθύρων από την τεχνική 'insertion'

Με γκρι χρώμα φαίνονται οι περιοχές που εξετάζονται από την τεχνική insertion, με μπλε αστερίσκο είναι τα κέντρα μάζας τους, με άσπρο είναι οι περιοχές των παραθύρων που ανιχνεύτηκαν από τις τρεις πρώτες τεχνικές.

3.6 Svd (Singular value decomposition)

Svd (Singular value decomposition) είναι μια διαδικασία παραγοντοποίησης ενός πίνακα με σκοπό να αναλυθεί σε συνιστώσες με τιμές βαρύτητας για καθεμιά από αυτές. Σε μια δυαδική εικόνα, κατά προσέγγιση, οι συνιστώσες προσδιορίζονται από τις διαφορετικές γραμμές και στήλες οι οποίες όταν τοποθετηθούν σε κατάλληλες θέσεις δίνουν τον αρχικό πίνακα.

Σ' αυτήν την τεχνική λαμβάνονται υπ' όψιν τα παράθυρα που έχουν αναγνωρισθεί μόνο από τις δυο πρώτες τεχνικές, κριτήρια χαρακτηριστικών και cross των οποίων η μεθοδολογία θεωρείται ακριβέστερη σε σχέση με τις άλλες. Στο σημείο αυτό θα αναφερθούμε στην μέθοδο Svd όπως την χρησιμοποιούμε εμείς, η οποία αξιοποιεί την ομάδα περιοχών 'possible', που είχαμε σχηματίσει αρχικά κατά την διάρκεια εφαρμογής της πρώτης τεχνικής και αλλάζει (λόγω μεταφοράς περιοχών στην ομάδα των παραθύρων) στην δεύτερη τεχνική (cross), για να ελέγξει αν κάποια από αυτές αντιστοιχεί σε παράθυρο. Ο τρόπος που επιχειρείται αυτό, είναι ξεκινώντας με την χρήση της τμηματοποιημένης εικόνας της πρόσοψης στην δυαδική της μορφή, όπου 1 είναι η τιμή που έχουν τα εικονοστοιχεία των περιοχών των παραθύρων και 0 η τιμή των εικονοστοιχείων όλων των υπόλοιπων περιοχών. Στόχος αυτής της μεθόδου αναγνώρισης είναι να προσδιοριστεί ποιος συνδυασμός ανάθεσης τιμών στις εξεταζόμενες περιοχές μπορεί να περιγράψει τις γραμμές και τις στήλες του πίνακα της τμηματοποιημένης εικόνας με τις λιγότερες ακολουθίες από 0, 1.

Εμείς τροφοδοτούμε τον αλγόριθμο του svd με τον δυσδιάστατο πίνακα που αντιστοιχεί στην τμηματοποιημένη εικόνα της πρόσοψης σε δυαδική μορφή ώστε να μας επιστρέψει τον πίνακα που ορίζονται οι διαφορετικές γραμμές και στήλες από ακολουθίες 0 και 1. Αυτήν την εκτέλεση του svd, την επαναλαμβάνουμε για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς που μπορούν να προκύψουν αν αναθέσουμε στις περιοχές της ομάδας 'possible' είτε 0 είτε 1. Έτσι το πλήθος των συνδυασμών που πρέπει να ελεγχθούν είναι 2^N , όπου N το πλήθος των περιοχών που ανήκουν στην ομάδα 'possible'. Για παράδειγμα αν έχουμε δυο περιοχές στην ομάδα

‘possible’, τότε πρέπει να υπολογιστεί ο πίνακας ορισμού των γραμμών και των στηλών της τμηματοποιημένης εικόνας για τέσσερις περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση που θεωρούμε ότι είναι παράθυρα (παίρνουν τιμή 1) και οι δυο περιοχές της ομάδας ‘possible’, στην δεύτερη περίπτωση καμιά από τις περιοχές της ομάδας ‘possible’ να είναι παράθυρα (παίρνουν τιμή 0) και άλλες δυο περιπτώσεις όπου η μια περιοχή θεωρείται παράθυρο, η άλλη όχι και το αντίστροφο.

Έτσι εξετάζοντας όλες τις δυνατές περιπτώσεις, ψάχνουμε ποιος συνδυασμός ανάθεσης τιμών στις πιθανές περιοχές θα μας δώσει τον πίνακα ορισμού των γραμμών και στηλών που περιγράφει τις λιγότερες ακολουθίες 0 και 1. Ο λόγος που ψάχνουμε τον πίνακα ορισμού μ’ αυτήν την ιδιότητα είναι εξαιτίας της συμμετρίας και της περιοδικότητας που χαρακτηρίζει τις περιοχές των παραθύρων. Αν, δηλαδή, χρειαζόταν να ορίσουμε τις διαφορετικές ακολουθίες από 0 και 1 που περιγράφουν τις γραμμές του πίνακα μιας τμηματοποιημένης εικόνας, η ίδια γραμμή θα χρησιμοποιούνταν για όλες τις γραμμές που περιγράφουν σε κάθε όροφο το τμήμα των παραθύρων. Αυτό βέβαια, ισχύει στην περίπτωση που έχουμε μια ορθή προβολή της πρόσοψης, ιδανική τμηματοποίηση και απόλυτη συμμετρία των περιοχών που αντιστοιχούν σε παράθυρα σε όλους τους ορόφους. Πάρα την έλλειψη ιδανικών συνθηκών η λογική της μεθόδου είναι έγκυρη και έχει πρακτική εφαρμογή στην εργασία μας. Σε πραγματικές συνθήκες, λοιπόν, αντί να προκύπτει μια μόνο ακολουθία από άσσους και μηδενικά για την περιγραφή των παραθύρων, επιλέγουμε τον συνδυασμό ανάθεσης τιμών στις περιοχές της ομάδας ‘possible’ που θα μας ελαχιστοποιήσει το πλήθος των ακολουθιών που περιγράφονται στο πίνακα ορισμού των γραμμών και των στηλών. Να μπορεί, δηλαδή, να περιγράφει η τμηματοποιημένη εικόνα με όσο το δυνατόν λιγότερες ακολουθίες από 0 και 1.

Για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε πότε ένας συνδυασμός ανάθεσης τιμών στις εξεταζόμενες περιοχές απαιτεί πολλές ή λίγες ακολουθίες για να περιγραφεί η τμηματοποιημένη εικόνα, πρέπει να υπολογίζουμε ένα αριθμό, στον οποίο γίνεται αναγωγή από τον πίνακα ορισμού που προκύπτει από την παραγοντοποίηση, ώστε να μπορούμε να συγκρίνουμε και να αποφασίσουμε ποιος είναι ο καταλληλότερος συνδυασμός. Δηλαδή, μέσω ενός αριθμητικού κριτηρίου σχετικού πλήθους ακολουθιών να μπορούμε να κρίνουμε τον συνδυασμό που θα μας προσθέσει από τις εξεταζόμενες περιοχές, μόνο αυτές που δεν παραβαίνουν την συμμετρία που αναμένεται να χαρακτηρίζει τα παράθυρα σε μια πρόσοψη.

Πιο αναλυτικά, ο αλγόριθμος του svd μας επιστρέφει ένα πίνακα S ο οποίος περιέχει n συνιστώσες. Ο αριθμός των κύριων συνιστωσών που περιγράφουν ισοδύναμα όλες τις συνιστώσες, d , ευρίσκεται μεταξύ 1 και n , που είναι το πλήθος τους. Αυτός ο αριθμός είναι τόσο μεγαλύτερος, όσο πιο ισοκατανεμημένες είναι οι ιδιάζουσες τιμές (στοιχεία του πίνακα S), και αντίστροφα μικρότερος, σε περίπτωση ανισοκατανομής. Προτείνεται η παρακάτω μέτρηση του αριθμού d ως συνάρτηση του συντελεστή μεταβολής V των ιδιαζουσών τιμών:

$$d = \frac{n}{1 + V^2} = \frac{n \cdot \mu^2}{\mu^2 + \sigma^2} \quad (1)$$

όπου μ και σ είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των ιδιαζουσών τιμών. Αν ονομάσουμε λ_i τις ιδιάζουσες τιμές, τότε προκύπτει ότι

$$d = \frac{(\sum \lambda_i)^2}{\sum \lambda_i^2} \quad (2)$$

Μπορούμε να ελέγξουμε ότι σε περίπτωση ακέραιου αριθμού ίσων μη μηδενικών ιδιζουσών τιμών ο υπολογιζόμενος αριθμός είναι ορθός. Πράγματι αν k ιδιαίζουσες τιμές είναι ίσες με α , τότε $d=k$, ως αναμενόμενο ανεξαρτήτως της τιμής του α . Μετά τον υπολογισμό του d , βρίσκουμε το

$$h = \frac{d - 1}{c} \quad (3)$$

όπου c το πλήθος των περιοχών με τιμή 1 (τα παράθυρα). Ιδανικά σε μια πρόσοψη με ορθή προβολή και απολύτως στοιχημένα παράθυρα, η αντίστοιχη δυαδική εικόνα απαιτεί μία μόνο συνιστώσα ($d=1$), άρα το $h=0$. Αφού έχει βρεθεί το h για κάθε πιθανή ανάθεση τιμών στις περιοχές της ομάδας 'possible', επιλέγεται η ανάθεση τιμών που αντιστοιχεί στο ελάχιστο h . Το πλήθος των περιοχών, c υπάρχει στον παρανομαστή, ώστε αυτή η μέθοδος να έχει την τάση να επιλέξει τον συνδυασμό ανάθεσης τιμών που αντιστοιχεί με την προσθήκη όσο το δυνατόν περισσότερων παραθύρων στο τελικό αποτέλεσμα της αναγνώρισης.

Τέλος, εφαρμόζεται η ίδια διαδικασία αποφυγής λανθασμένων αναγνώρισεων για τις περιοχές των παραθύρων μέσω της σύγκρισης μεταξύ των μέσων κατανομών των χρωματικών καναλιών των περιοχών που αντιστοιχούν σε αναγνωρισμένα παράθυρα από την πρώτη τεχνική και των κατανομών κάθε περιοχής που αναγνωρίζεται ως παράθυρο από την τεχνική του svd . Αυτή η διαδικασία είναι ίδια μ' αυτή που χρησιμοποιήθηκε μετά την ολοκλήρωση της πρώτης τεχνικής και αναλύεται στο τμήμα 3.2.2. Κάθε περιοχή που προστίθεται εξαιτίας αυτής της τεχνικής παρουσιάζονται τα όρια της με magenta (ροζ) χρώμα.

Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα που αναδεικνύει τη χρησιμότητα αυτής της τεχνικής.



(α)



(β)

- criteria
- cross
- moving window
- insertion
- svd

Σχήμα 3.8: Παράδειγμα αναγνώρισης παραθύρων από την τεχνική 'svd'

Αριστερά φαίνεται η αρχική εικόνα και δεξιά φαίνονται οι περιοχές των παραθύρων με άσπρο και όλες οι υπόλοιπες με μαύρο.

Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα

4.1 Περιγραφή διαδικασίας αξιολόγησης

Για την αξιολόγηση της μεθόδου αναγνώρισης του ουρανού, του τοίχου και των παραθύρων χρησιμοποιήθηκαν 42 εικόνες πρόσοψης, οι οποίες προήλθαν από τέσσερις πηγές. Ένας μέρος των εικόνων είναι από κτίρια της οδού 25^{ης} Αυγούστου, των οποίων η λήψη έγινε από εμάς. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν εικόνες από την βάση του e-trims [16] και της ZuBuD (Zurich Building Image Database) [15]. Ακόμη, επιλέχθηκαν λίγες προσόψεις από διάφορες άλλες πηγές (google search).

Κάθε ένα παράδειγμα απ' αυτά που ακολουθούν αποτελείται από 3 εικόνες, την τμηματοποιημένη, την τμηματοποιημένη σε δυαδική μορφή όπου με άσπρο απεικονίζεται η ανιχνεύσιμη δομή και με μαύρο όλες οι υπόλοιπες περιοχές και την αρχική έχοντας σχεδιάσει τα όρια των περιοχών που αναγνωρίστηκαν. Στα παραδείγματα του ουρανού δεν συμπεριλαμβάνεται η τμηματοποιημένη σε δυαδική μορφή επειδή δεν ωφελεί ιδιαίτερα στην κατανόηση του αποτελέσματος αναγνώρισης.

4.2 Αποτελέσματα αναγνώρισης ουρανού

Κρίνοντας εκ του οπτικού αποτελέσματος, από το δείγμα των 42 προσόψεων στις 28 οι περιοχές του ουρανού έχουν αναγνωρισθεί ικανοποιητικά, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι σε ορισμένες προσόψεις (~5) δεν απεικονίζονταν ο ουρανός. Έτσι επιτυγχάνουμε ένα ποσοστό ανίχνευσης περίπου 70%.

Τα αποτελέσματα της αναγνώρισης των περιοχών του ουρανού είναι ικανοποιητικά, όπως φαίνεται στα παρακάτω παραδείγματα.



(α)



(β)



(γ)



(δ)



(ε)

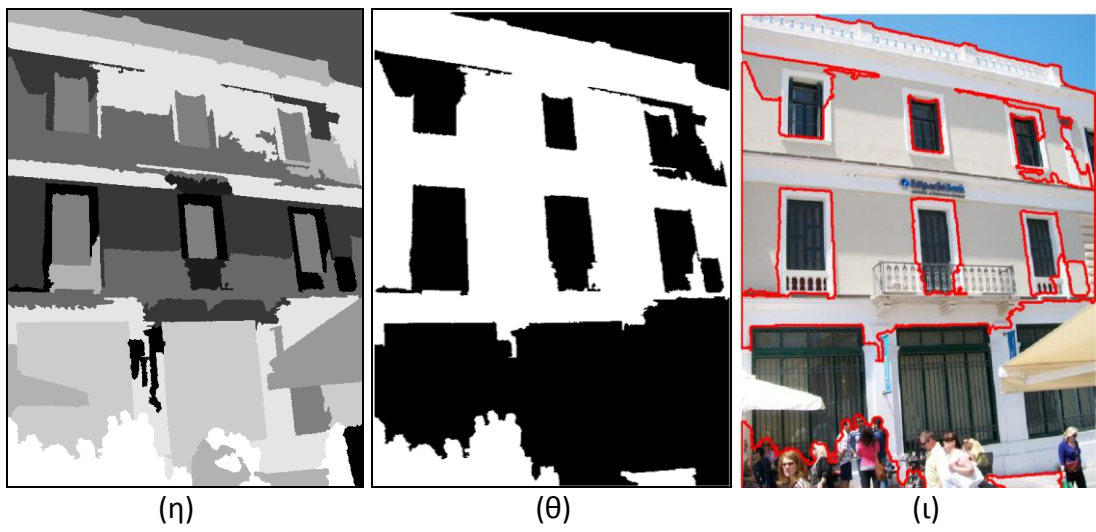
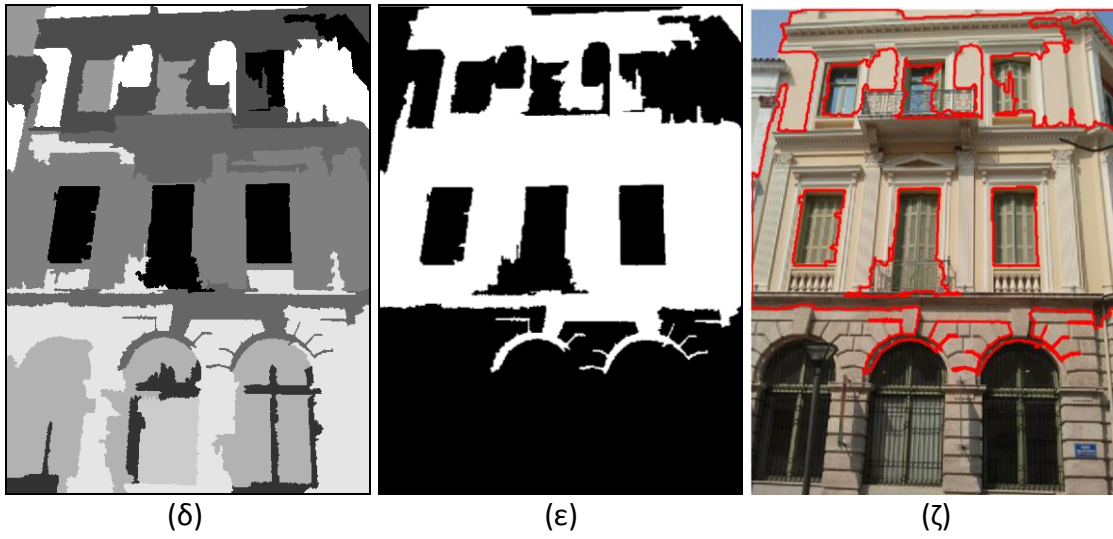
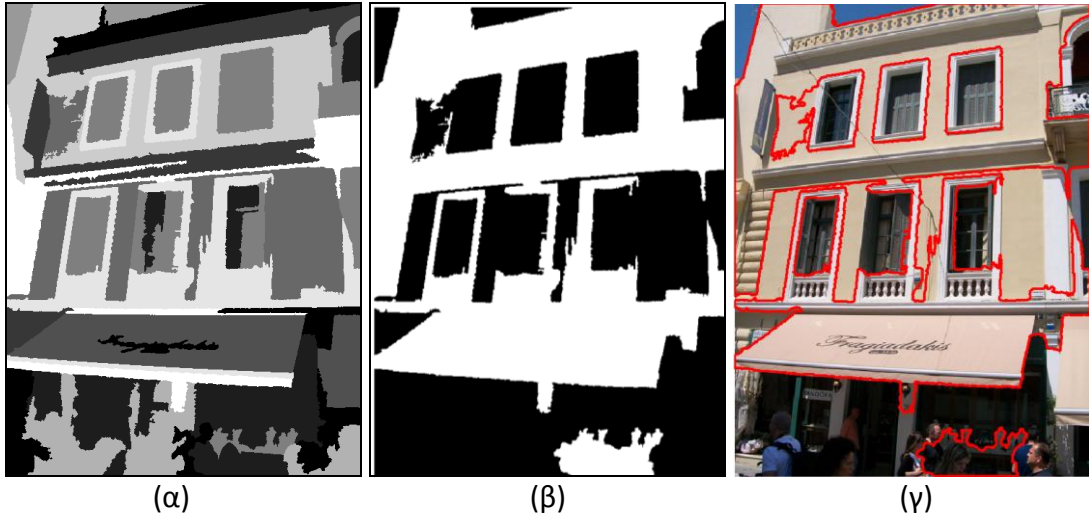


(ζ)

Σχήμα 4.1: Παραδείγματα αναγνώρισης ουρανού

4.3 Αποτελέσματα αναγνώρισης τοίχου

Κρίνοντας εκ του οπτικού αποτελέσματος, από το δείγμα των 42 προσόψεων στις 30 οι περιοχές του τοίχου έχουν αναγνωρισθεί ικανοποιητικά. Έτσι επιτυγχάνουμε ένα ποσοστό ανίχνευσης περίπου 71%. Τα αποτελέσματα της αναγνώρισης των περιοχών του τοίχου είναι αρκετά ικανοποιητικά, όπως φαίνεται στα παρακάτω παραδείγματα.



Σχήμα 4.2: Παραδείγματα αναγνώρισης τοίχου

4.4 Αποτελέσματα αναγνώρισης παραθύρων

Στα αποτελέσματα ανίχνευσης παραθύρων υπολογίστηκαν τα εξής στατιστικά στοιχεία για την αξιολόγηση των πέντε τεχνικών αναγνώρισης αυτών των περιοχών:

➤ Μέση Ακρίβεια (Precision)

Η ακρίβεια εκφράζει την ικανότητα του αλγόριθμου να αναγνωρίζει μόνο τις περιοχές που αντιστοιχούν σε παράθυρα, ανεξάρτητα από το αν θα τις ανιχνεύσει όλες. Για μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα αυτού του στατιστικού στοιχείου και για τις 42 εικόνες, υπολογίστηκε η μέση τιμή αυτού, η οποία είναι 0,95. Από την τιμή αυτή, συμπεραίνουμε ότι τα αποτελέσματα του αλγόριθμου αναγνώρισης έχουν υψηλότατο δείκτη ακρίβειας. Όταν, δηλαδή, ο αλγόριθμος προσδιορίσει ότι μια περιοχή ανήκει στην ομάδα των παραθύρων, σχεδόν πάντα έχει αποφασίσει ορθά.

➤ Μέση Ανάκληση (Recall)

Η ανάκληση εκφράζει την ικανότητα εύρεσης όλων των παραθύρων, ανεξάρτητα από το αν ανιχνευτούν παραπάνω από όσες υπάρχουν. Για μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα αυτού του στατιστικού στοιχείου και για τις 42 εικόνες, υπολογίστηκε η μέση τιμή αυτού, η οποία είναι 0,72. Από την τιμή αυτή, συμπεραίνουμε ότι τα αποτελέσματα του αλγόριθμου αναγνώρισης έχουν ικανοποιητική ανάκληση. Αυτό σημαίνει ότι ο συνδυασμός μιας σχετικά ικανοποιητικής τμηματοποίησης με την αποτελεσματικότητα των πέντε μεθόδων ανίχνευσης τις περισσότερες φορές μας οδηγεί σε ένα αποτέλεσμα στο οποίο έχει αναγνωριστεί η πλειονότητα των παραθύρων.

➤ Μέσο F-measure

Το F-measure συνδυάζει την πληροφορία της ακρίβειας και της ανάκλησης του αλγορίθμου μας, για να μας δώσει ένα μέτρο, το οποίο λαμβάνει το ίδιο υπ' όψιν του και τα δυο. Αυτό το μέτρο λέγεται και η αρμονική μέση τιμή της ανάκλησης και της ακρίβειας καθώς για να προκύψει υψηλή τιμή πρέπει ταυτόχρονα να έχουμε υψηλή ακρίβεια και ανάκληση. Για μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα αυτού του στατιστικού στοιχείου και για τις 42 εικόνες, υπολογίστηκε η μέση τιμή αυτού, η οποία είναι 0,8. Από την τιμή αυτή, η οποία εκφράζει συνολικά την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου, συμπεραίνουμε ότι τα αποτελέσματα αναγνώρισης κρίνονται ικανοποιητικά.

➤ Μέσο ποσοστό επιτυχημένης αναγνώρισης

Αυτό το ποσοστό προκύπτει από το λόγο του πλήθους των παραθύρων που αναγνωρίστηκαν με του πλήθους των ικανοποιητικά τμηματοποιημένων παραθύρων. Εκφράζει, δηλαδή, τον βαθμό συνεισφοράς των τεσσάρων τελευταίων τεχνικών αναγνώρισης στο τελικό αποτέλεσμα. Ο λόγος που υπολογίσαμε αυτό το ποσοστό είναι για να δείξουμε το βαθμό εξάρτησης του αποτελέσματος της αναγνώρισης από το αποτέλεσμα της τμηματοποίησης. Η τιμή που προέκυψε γι' αυτό το στατιστικό στοιχείο είναι 153%. Αυτό σημαίνει ότι κατά μέσο όρο ανιχνεύονται περίπου παραπάνω από τις μισές περιοχές επιπλέον απ' αυτές που έχουν ικανοποιητική τμηματοποίηση. Άρα στην συντριπτική πλειοψηφία, όχι μόνο αναγνωρίστηκαν όλες οι ικανοποιητικά τμηματοποιημένες περιοχές των παραθύρων, αλλά κι αυτές των οποίων η τμηματοποιημένη περιοχή που τους αντιστοιχεί, δεν παραπέμπει σε παράθυρο.

Για μια πληρέστερη εικόνα της αποτελεσματικότητας των τεχνικών αναγνώρισης, δοκιμάστηκε ο αλγόριθμος αναγνώρισης πέντε φορές (μια φορά για κάθε τεχνική) και υπολογίστηκαν τα παραπάνω στατιστικά στοιχεία για κάθε δοκιμή, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1. Σε κάθε δοκιμή χρησιμοποιείται μια επιπλέον τεχνική (διατηρώντας την σειρά εφαρμογής που έχει οριστεί στο τμήμα 3.1) ξεκινώντας μόνο από τα Κριτήρια Χαρακτηριστικών. Έτσι, στην πρώτη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε μόνο η τεχνική 'Κριτήρια Χαρακτηριστικών', όπου προκύπτει ότι η ανάκληση είναι χαμηλή κυρίως λόγω του ότι σ' αυτή τη δοκιμή του αλγορίθμου αξιοποιούμε μόνο τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των περιοχών για την αναγνώριση των παραθύρων, έτσι είναι δύσκολο να βρεθούν αρκετά από τα παράθυρα των προσόψεων, καθώς βασιζόμαστε ουσιαστικά εξ' ολοκλήρου στο αποτέλεσμα της τμηματοποίησης. Η υψηλή ακρίβεια μας δείχνει ότι η τεχνική των κριτηρίων των χαρακτηριστικών σπάνια προκαλεί λανθασμένη αναγνώριση παραθύρων. Τέλος, το ποσοστό επιτυχημένης αναγνώρισης φανερώνει την ικανότητα της τεχνικής αναγνώρισης που χρησιμοποιήθηκε στο να βρίσκει σχεδόν όλα τα παράθυρα των οποίων η τμηματοποιημένη περιοχή που τους αντιστοιχεί είναι ικανοποιητική.

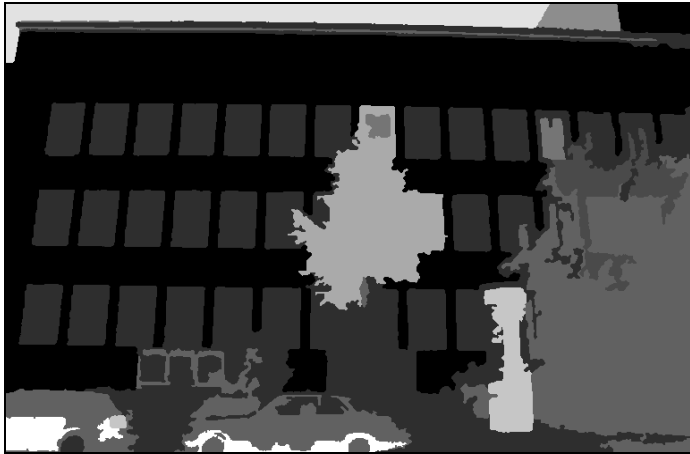
Στην δεύτερη δοκιμή χρησιμοποιούνται οι δυο πρώτες τεχνικές (Κριτήρια Χαρακτηριστικών, Cross), στην τρίτη δοκιμή οι τρεις πρώτες τεχνικές, κ.ο.κ. Σύμφωνα με τις τιμές των στατιστικών στοιχείων που πρόεκυψαν από αυτές τις πέντε δοκιμές μπορούμε να ταξινομήσουμε τις τέσσερις τελευταίες τεχνικές αναγνώρισης βάση της συνεισφοράς τους στο τελικό αποτέλεσμα. Πιο αναλυτικά, μια φθίνουσα ταξινόμηση των τεχνικών βάση της συνεισφοράς τους είναι η εξής: Insertion, Cross, Moving Window, SVD. Άρα η πιο χρήσιμη τεχνική είναι η Insertion και μετά ακολουθούν οι υπόλοιπες τρεις των οποίων η διαφορά στην συνεισφορά τους είναι μικρή.

Χρήση Τεχνικών Αναγνώρισης	Μέση Ανάκληση	Μέση Ακρίβεια	Μέσο F-measure	Μέσο ποσοστό επιτυχημένης αναγνώρισης
Κριτήρια Χαρακτηριστικών	0,48	0,96	0,62	95 %
Cross	0,53	0,97	0,67	108 %
Moving Window	0,57	0,96	0,69	116 %
Insertion	0,69	0,95	0,78	140 %
SVD	0,72	0,95	0,80	153 %

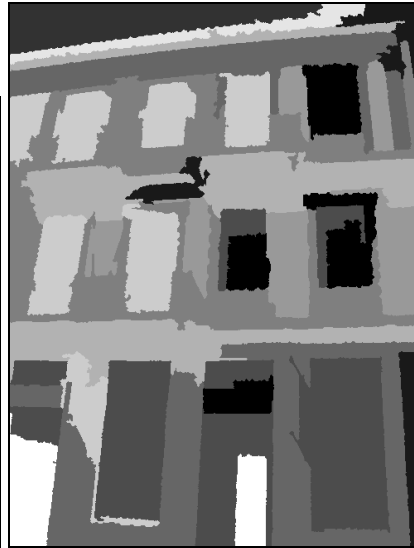
Πίνακας 4.1: Στατιστικά στοιχεία για τη συνεισφορά κάθε τεχνικής αναγνώρισης στο τελικό αποτέλεσμα

Τέλος, για να αξιολογήσουμε τον κάτω κλάδο του διαγράμματος αλγοριθμικών ροών και εξαρτήσεων που απεικονίζεται στο σχήμα 1.1, δοκιμάσαμε να αναγνωρίσουμε τα παράθυρα στο ίδιο σύνολο των 42 προσόψεων κτιρίων με την χρήση των τεχνικών: Κριτήρια Χαρακτηριστικών, Cross και Svd. Απ' αυτήν την δοκιμή προέκυψαν οι παρακάτω τιμές για τα στατιστικά στοιχεία που χρησιμοποιήσαμε και προηγουμένως: η ανάκληση 0,59, η ακρίβεια 0,97, το F-measure 0,71 και το μέσο ποσοστό επιτυχημένης αναγνώρισης 125%.

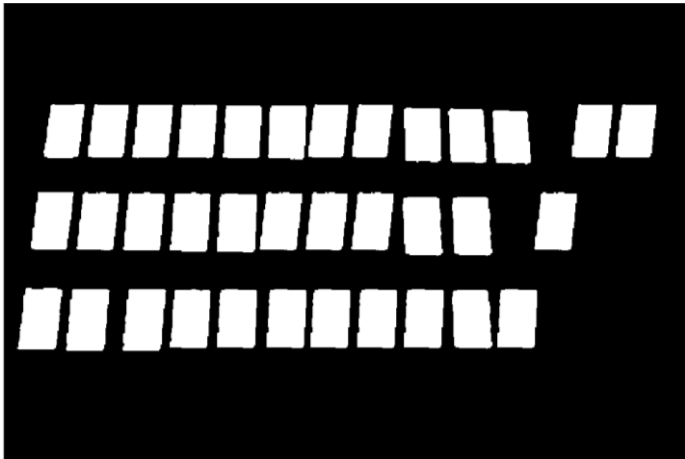
Τα αποτελέσματα της αναγνώρισης των παραθύρων είναι αρκετά ικανοποιητικά. Στο σύνδεσμο: <http://www.csd.uoc.gr/~tziritas/demos/Facades/windows.htm> είναι διαθέσιμα όλα τα αποτελέσματα από τα οποία προέκυψαν οι παραπάνω τιμές των στατιστικών στοιχείων. Ένα δείγμα των αποτελεσμάτων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα όπου στη πρώτη σειρά κάθε σελίδας φαίνονται οι τμηματοποιημένες εικόνες της πρόσοψης, στην δεύτερη σειρά φαίνονται οι τμηματοποιημένες εικόνες σε δυαδική μορφή (1 για παράθυρα, 0 για τις υπόλοιπες περιοχές) και στην τρίτη σειρά φαίνονται τα τελικά αποτελέσματα αναγνώρισης των παραθύρων.



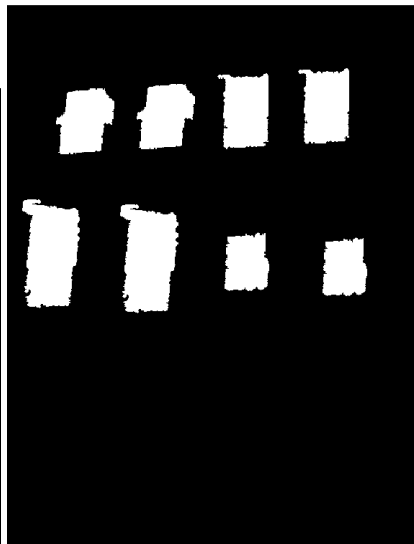
(α)



(β)



(γ)



(δ)



(ε)



(ζ)



(η)



(θ)



(ι)



(κ)



(λ)



(μ)



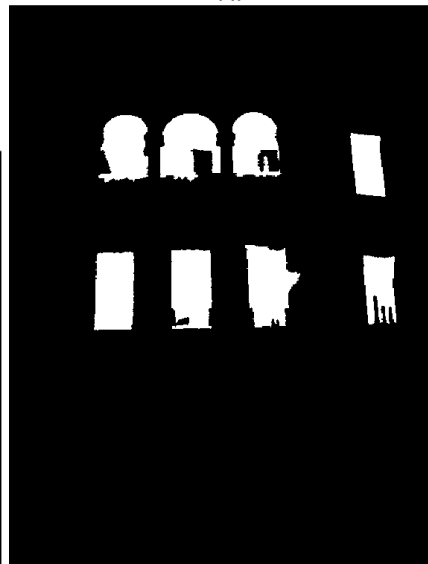
(ν)



(ξ)



(ο)



(π)



(ρ)



(σ)

Σχήμα 4.3: Παραδείγματα αναγνώρισης παραθύρων

Κεφάλαιο 5

Επίλογος

5.1 Συμπεράσματα του αλγόριθμου τμηματοποίησης

Σύμφωνα με τις τμηματοποιήσεις που προέκυψαν από τις 42 εικόνες στις οποίες δοκιμάσαμε αυτόν τον αλγόριθμο, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μερικές φορές παρατηρείται τον φαινόμενο της υποτμηματοποίησης, προκύπτουν, δηλαδή, μεγαλύτερες περιοχές απ' ότι θα 'πρεπε. Αυτό δυσκολεύει την διαδικασία αναγνώρισης, ιδιαίτερα αν αυτό δεν περιορίζεται στις περιοχές των παραθύρων ενός ορόφου. Γενικά, όμως τα αποτελέσματα θεωρούνται ικανοποιητικά για τις περιοχές που αντιστοιχούν στις ανιχνεύσιμες δομές.

5.2 Συμπεράσματα του αλγόριθμου αναγνώρισης

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αναγνωρίσεων που προέκυψαν από τις 42 εικόνες στις οποίες δοκιμάσαμε αυτόν τον αλγόριθμο, παρατηρείται ικανοποιητική ανάκληση και υψηλότερη ακρίβεια, όπως δείχνουν και τα στατιστικά στοιχεία. Επίσης, υπάρχουν κάποιες αδυναμίες αυτού του αλγόριθμου στην περίπτωση που τα παράθυρα μιας πρόσοψης έχουν ανοιχτά τα πατζούρια. Αυτό δημιουργεί πρόβλημα ακρίβειας, καθώς οι περιοχές των πατζουριών έχουν αρκετά παρόμοιες τιμές στα περιγραφικά χαρακτηριστικά τους μ' αυτές των παραθύρων κι έτσι μερικές φορές αναγνωρίζονται λανθασμένα ως παράθυρα όπως φαίνεται και στο προτελευταίο παράδειγμα του τμήματος 4.4. Ακόμη σε κάποιες περιπτώσεις που η τμηματοποίηση είναι αρκετά ικανοποιητική, δεν αναγνωρίζονται επιτυχώς όσα παράθυρα θα 'πρεπε λόγω του φαινομένου της προβολικής διαμόρφωσης, δηλαδή, της αναπόφευκτης παρερμηνεύσης του τρισδιάστατου χώρου όταν αυτός προβάλλεται σε μια δισδιάστατη επιφάνεια.

5.3 Μελλοντικές επεκτάσεις

Προκειμένου να βελτιωθούν τα αποτελέσματα της τμηματοποίησης, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένας ακόμη αλγόριθμος τμηματοποίησης. Έτσι ο αλγόριθμος αναγνώρισης θα εκτελούνταν δυο φορές εφόσον θα είχαμε δυο τμηματοποιήσεις, για κάθε πρόσοψη που εξετάζαμε. Τα αποτελέσματα των δυο εκτελέσεων θα συγχωνεύονταν ώστε να προκύψει ένα τελικό αποτέλεσμα ποιοτικά και ποσοτικά πιο ικανοποιητικό.

Επίσης, πριν χρησιμοποιηθεί η εικόνα της πρόσοψης θα μπορούσε βρεθεί η ορθή προβολή της σύμφωνα με την οποία θα εκτελούνταν ο αλγόριθμος τμηματοποίησης. Μ' αυτόν τον τρόπο θα περιορίζονταν αρκετά ο βαθμός της

προβολικής παραμόρφωσης, το οποίο θα είχε σαν αποτέλεσμα την αναγνώριση περισσότερων περιοχών που αντιστοιχούν σε παράθυρα.

Τέλος, μια επέκταση είναι η εφαρμογή μιας μεθόδου διαχωρισμού των περιοχών που αντιστοιχούν σε πατζούρια και παράθυρα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, λόγω της ομοιότητας των τιμών των χαρακτηριστικών στις περιοχές αυτών των δυο δομών, είναι δύσκολο να προσδιορίσουμε με ακρίβεια σε ποια από τις δυο ανήκει.

Βιβλιογραφία

- [1] C. Panagiotakis, I. Grinias and G. Tziritas, *Natural Image Segmentation based on Tree Equipartition, Bayesian Flooding and Region Merging*, IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 20, pp. 2276 - 2287, Aug. 2011.
- [2] M. Y. Yang, W. Förstner and D. Chai, *FEATURE EVALUATION FOR BUILDING FACADE IMAGES – AN EMPIRICAL STUDY*, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XXXIX-B3, 513-518, doi:10.5194/isprsarchives-XXXIX-B3-513-2012, 2012.
- [3] Andelo Martinovic, Markus Mathias, Julien Weissenberg, Luc Van Gool, *A Three-Layered Approach to Façade Parsing*, ECCV'12 Proceedings of the 12th European conference on Computer Vision - Volume Part VII, Pages 416-429.
- [4] Bjorn Frohlich, Erik Rodner and Joachim Denzler, *A Fast Approach for Pixelwise Labeling of Facade Images*, 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), 23-26 Aug. 2010.
- [5] Haider Ali, Christin Seifert, Nitin Jindal, Lucas Paletta, Gerhard Paar, *Window Detection in Facades*, 14th International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP), 10-14 Sept. 2007.
- [6] Michael Ying Yang, Wolfgang Forstner, *Regionwise Classification of Building Facade Images*, Proceedings of the ISPRS conference on Photogrammetric Image Analysis, pp. 209-220, 2011.
- [7] H. Mayer, S. Reznik, *Building facade interpretation from uncalibrated wide-baseline image sequences*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 61, No. 6, pp. 371-380, Feb. 2007.
- [8] Jorge Hernandez, Beatriz Marcotegui, *Morphological segmentation of building facade images*, Proceedings of the 16th IEEE international conference on Image processing (ICIP), pp. 3977-3980, 2009.
- [9] Kulkarni Viraj, Nagesh Rohan, Wu Hong, *Window Detection in Frontal Facades*, http://vis.berkeley.edu/courses/cs294-69-fa11/wiki/images/b/b8/Window_Detection_in_Frontal_Facades.pdf.
- [10] Sung Chun Lee, Ram Nevatia, *Extraction and Integration of Window in a 3D Building Model from Ground View images*, Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004.

- [11] Olivier Teboul, Loic Simon, Panagiotis Koutsourakis, Nikos Paragios, *Segmentation of Building Facades Using Procedural Shape Priors*, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2010.
- [12] Z. I. Botev, J. F. Grotowski, D. P. Kroese, *Kernel density estimation via diffusion*, Ann. Stat., Vol. 38(5), pp. 2916—2957, 2010.
- [13] R. Duda, P. Hart and D. Stork, *Pattern Classification*, J. Wiley and sons, 2001.
- [14] C. Panagiotakis, E. Ramasso, G. Tziritas, M. Rombaut and D. Pellerin, *Shape-based Individual/Group Detection for Sport Videos Categorization*, International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence (IJPRAI), Vol. 22, No. 6, pp. 1187 - 1213, 2008.
- [15] ZuBuD (Zurich Building Image Database), <http://www.vision.ee.ethz.ch/showroom/zubud/>
- [16] F. Korč, W. Förstner, *eTRIMS Image Database for Interpreting Images of Man-Made Scenes*, Technical report TR-IGG-P-2009-01, University of Bonn, Dept. of Photogrammetry, 2009.
- [17] Teboul O., Kokkinos I., Simon L., Koutsourakis P., Paragios N., *Parsing Facades with Shape Grammars and Reinforcement Learning*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 35 , No. 7, pp. 1744 – 1756, 2013.
- [18] M. Y. Yang and W. Förstner, *A Hierarchical Conditional Random Field Model for Labeling and Classifying Images of Man-made Scenes*, International Conference on Computer Vision, IEEE/ISPRS Workshop on Computer Vision for Remote Sensing of the Environment, 2011.
- [19] C. Yang, T. Han, L. Quan and C. L. Tai, *Parsing Facade with Rank-One Approximation*, Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1720-1727, 2012.